

H. Holsters

**Rapport concernant l'influence
des endiguements à Saaftinge
sur le régime des marées de
l'Escaut Maritime.**

(décembre 1951.)

4592

RAPPORT CONCERNANT L'INFLUENCE DES ENDIGUEMENTS A SAAFTINGE SUR LE REGIME DES MAREES DE L'ESCAUT MARITIME.

=====

(70 annexes).

Waterbouwkundig Laboratorium
Borgerhout

INTRODUCTION.

BIBLIOTHEEK

Le Laboratoire de Recherches hydrauliques de l'Administration des Ponts et Chaussées de Belgique a effectué une série d'essais sur un modèle de l'Escaut Maritime, dans le but d'étudier l'influence des endiguements projetés dans la partie néerlandaise du fleuve, notamment des schorres de Saaftinge.

La présente étude a pour but d'étudier cette même influence par le calcul. La méthode adoptée est celle dite des "lignes d'influence", exposée dans les numéros 37 à 41 de la "Revue générale de l'Hydraulique" (voir annexe 70 du présent rapport).

Une grande partie des calculs a été reprise indépendamment par M. Dermience, Ingénieur des Ponts et Chaussées. Quoiqu'il ne connût pas nos résultats, ses chiffres concordent d'une façon satisfaisante avec les nôtres. Nous tenons à le remercier vivement pour sa collaboration, non seulement au point de vue des calculs, mais également en ce qui concerne la mise en page des annexes du présent rapport.

CHAPITRE I.

CALCUL DE L'INFLUENCE DES ENDIGUEMENTS PAR LA METHODE

DIRECTE.

§ 1. Principes de la méthode adoptée.

Par la "méthode directe", nous entendons que le calcul comprend les deux phases suivantes : d'abord calcul

du régime dans le fleuve non endigué, ensuite répétition des mêmes calculs mais en tenant compte de l'endiguement.

Comme il faut envisager deux cas, à savoir le régime moyen ou normal et le régime de tempête ou exceptionnel, le présent chapitre comporte les calculs suivants :

- a) calcul de la marée moyenne;
- b) calcul de la marée moyenne après endiguement;
- c) calcul de la marée-tempête;
- d) calcul de la marée-tempête après endiguement.

Tous ces calculs sont effectués par la méthode dite des "lignes d'influence".

§ 2. Calcul de la marée moyenne.

La subdivision du fleuve en tronçons et le calcul des coefficients intervenant dans les formules sont basés sur un intervalle de temps T égal à un septantième de la période de la marée et sur les profondeurs moyennes de la marée-tempête.

Par des calculs préalables nous avons été conduits à faire usage, pour le coefficient de Chézy, de la formule de Bazin avec les coefficients de rugosité suivants :

1,80	pour la partie :	Embouchure-Lillo;
1,50	" " "	: Lillo-Hingene;
2,60	" " "	: Hingene-Termonde;
1,60	" " "	: Termonde-Gentbrugge.

Comme nous nous intéressons surtout à la partie en aval de Hingene (confluent du Rupel), les affluents ont été remplacés par des élargissements équivalents ajoutés à la partie amont du fleuve.

Nous avons pris comme condition aval la même courbe de marée (correspondant à la moyenne décennale 1921-30) que dans le modèle construit au Laboratoire de Recherches hydrauliques et, comme débits d'amont et latéraux, les débits introduits dans ledit modèle.

Les résultats du calcul figurent aux annexes 1 et 2; ce sont les chiffres inscrits dans les rectangles. Les chiffres au-dessous de ces derniers se rapportent à la situation après indiguement (voir § 4).

Dans les cases correspondant aux subdivisions (ou profils) 0, 1, 2, etc... sont marquées les cotes en centimètres, les cotes du profil 0 étant celles de la courbe-marée imposée à Flessingue.

Dans les cases des subdivisions 0-1, 1-2, etc... sont inscrits, en $m^3/sec.$, les débits au milieu de chaque tronçon. Le débit constant inscrit à l'extrémité droite de chaque feuille correspond au débit supérieur à Gentbrugge. Les débits indiqués aux subdivisions 7, 8 et 11 (en haut de chaque feuille) sont les débits latéraux introduits. Le tableau des coefficients utilisés se retrouve à l'annexe 4 (calcul de la marée-tempête). Au moyen de ce tableau il est facile de vérifier les calculs (voir aussi chapitre III, § 10).

Les résultats donnés aux annexes 1 et 2 se rapportent au régime périodique, notamment à partir de la subdivision 14 de l'axe des temps. Nous n'avons pas reproduit les calculs qui mènent à ce régime périodique. Ces calculs s'étendent sur une marée à peu près, le régime initial étant un écoulement permanent qui, en principe, peut être choisi arbitrairement.

Remarque.

La notation (o) que l'on trouve à côté de certains chiffres indique que la quantité correspondante a été corrigée (voir chapitre III, § 11).

§ 3. Résultats du calcul de la marée moyenne.

L'annexe 3 reproduit les courbes-marée calculées aux profils 5, 6, 7 et 8. Les cumulées de ces profils sont respectivement (en kilomètres) : 62,6 - 74,3 - 86,2 - 97,4.

On en déduit facilement les cotes et heures de marée haute et de marée basse aux stations marégraphiques Lillo, Anvers et Hingene, dont les cumulées sont respectivement : 68,2 - 82,0 - 97,0.

Le tableau suivant donne ces chiffres, comparés à ceux de la nature (extrait du mémoire : "Etude du Régime des Rivières du Bassin de l'Escaut Maritime par Cubature de la Marée moyenne décennale 1921-1930" par L. Bonnet et J. Blockmans, Annales des Travaux publics de Belgique, juin 1936) :

Station marégra- phique.	Marée haute.				Marée basse			
	Cote		Heure		Cote		Heure	
	calc.	nat.	calc.	nat.	calc.	nat.	calc.	nat.
Lillo	480	489	2h20	1h45	25	29	8h50	8h40
Anvers	486	493	2h40	2h13	27	28	9h15	9h15
Hingene	488	491	3h10	2h51	37	40	10h00	9h57

On peut se rendre compte que la concordance, si pas parfaite, est néanmoins très suffisante pour permettre des calculs comparatifs.

§ 4. Calcul de la marée moyenne après endiguement.

Les sohorres de Saaftinge se trouvent à 50 Km. environ en amont de Flessingue; nous les supposerons situées à la section 4 de cumulée 52,3 Km.

En cet endroit, l'application de notre méthode revient à calculer les cotes au moyen de la condition de continuité. En effet, la variation de la cote pendant un intervalle de temps $2T$ est obtenue en divisant la différence entre les débits aval et amont, qui sont les débits aux subdivisions 3-4 et 4-5, par le coefficient b . Ce coefficient est directement proportionnel à la capacité locale d'emmagasinement.

Si cette capacité est réduite par suite de l'endiguement, seule la valeur du coefficient b change. Nous supposerons que, après endiguement, la valeur de b ne variera plus avec la cote, mais restera égale à sa valeur à la cote 0. Cette hypothèse convient assez bien pour l'endiguement réalisé au laboratoire (voir chapitre III, § 5).

Les résultats des calculs se trouvent aux annexes 1 et 2; ce sont les chiffres inscrits immédiatement au-dessous des cases. Les courbes-marée aux profils 5 à 8 sont dessinées à l'annexe 3.

En comparant les derniers résultats avec ceux obtenus pour la marée normale, on conclut aux relèvements suivants des cotes de marée haute :

Saaftinge	9 cm.
Lillo	7 cm.
Anvers	7 cm.
Hingene	5 cm.

L'influence de l'endiguement sur les cotes de marée basse est insignifiante.

En ce qui concerne les débits, les modifications les plus importantes se situent immédiatement en aval et en amont de l'endiguement, donc dans les tronçons 3-4 et 4-5. En additionnant les débits positifs (puis négatifs) pendant le flot (puis le jusant) on obtient, après multiplication par 1277 secondes (soit $2T$), le cube total du flot (ou du jusant) dans chacun de ces tronçons.

On trouve :

a) dans le tronçon 3-4 :

cube du flot avant endiguement	295.000.000 m ³ .
cube du flot après endiguement	269.000.000 m ³ .
cube du jusant avant endiguement	301.000.000 m ³ .
cube du jusant après endiguement	266.000.000 m ³ .

b) dans le tronçon 4-5 :

cube du flot avant endiguement	169.000.000 m ³ .
cube du flot après endiguement	173.000.000 m ³ .
cube du jusant avant endiguement	175.000.000 m ³ .
cube du jusant après endiguement	178.000.000 m ³ .

De ces chiffres on conclut que l'endiguement provoque une assez forte réduction de la puissance hydraulique du fleuve en aval (environ 10 %) et une légère augmentation de cette puissance en amont (environ 2 %) de l'endiguement.

Une autre conséquence de l'endiguement est la réduction de la durée du gagnant. L'examen des courbes de l'annexe 3 montre en effet qu'après endiguement la marée haute se produit plus tôt, alors que pour la marée basse la différence est minime.

Comme nous calculons les cotes à des intervalles de 1277 secondes, soit 20 minutes environ, il est difficile de donner des chiffres exacts. Toutefois le décalage sensible de la partie supérieure des courbes-marée de l'annexe 3 permet de conclure que l'avancement relatif de l'heure de marée haute sera de 10 minutes au moins.

§ 5. Calcul de la marée-tempête.

La marée-tempête utilisée en modèle est celle du 23 novembre 1930. Les débits d'amont et latéraux sont les sextuples des débits correspondants de la marée moyenne. Les calculs ont été basés sur les mêmes données.

Il importe toutefois d'attirer l'attention sur une difficulté qui ne se présente pas pour la marée moyenne, du fait que la marée-tempête n'est pas un phénomène périodique.

Dans le modèle il a été tenu compte de cette difficulté en imposant à Flessingue une série de cinq marées, dont la marée-tempête proprement dite et aussi la marée immédiatement précédente.

Dans les calculs nous avons procédé de façon analogue en prenant comme condition d'aval la série de deux marées et demie représentée à l'annexe IO (profil 0).

Nous avons pu vérifier que la situation initiale inconnue est ainsi reportée suffisamment loin dans le passé pour qu'elle soit sans influence sur la marée-tempête proprement dite. En effet, la marée-tempête a été calculée de façon indépendante par M. Dermience et par nous, en partant de situations initiales différentes. Malgré cela les résultats coïncident pratiquement après une demi-marée (voir annexes IO et II).

Les résultats de M. Dermience sont reproduits aux annexes 4 à 9.

Sur les annexes IO et II sont dessinées les courbes-marée aux profils 1 à 9, obtenues en prenant comme cotes les moyennes des deux calculs. En haut de chaque feuille figurent les chiffres trouvés par les deux calculateurs (hauteurs D et hauteurs H). On peut se rendre compte que la concordance est très bonne.

Le tableau suivant donne, pour quelques stations, les cotes de la marée basse précédente, de la marée haute-tempête et de la marée basse suivante.

Station maré- graphique.	M.B. précé- dente.	M.H. tempê- te.	M.B. sui- vante.
Lillo	70	704	199
Anvers	85	714	208
Hingene	118	722	230

§ 6. Calcul de la marée-tempête après endiguement.

Nous avons refait les calculs en prenant pour le coefficient b au profil 4, la valeur correspondant à la cote 0. Les chiffres trouvés sont inscrits aux annexes 5 à 8 (au-dessous de chaque case).

Nous avons dessiné (annexes 10 et 11) les courbes-marée après endiguement, aux profils 3 à 9.

En ce qui concerne les relèvements de marée haute, nous trouvons les chiffres suivants :

Saaftinge	22 cm.
Lillo	16 cm.
Anvers	15 cm.
Hingene	14 cm.

Contrairement à ce qui se produit pour la marée moyenne, les marées basses sont également modifiées. Voici les abaissements constatés :

Saaftinge	6 cm.
Lillo	7 cm.
Anvers	8 cm.
Hingene	10 cm.

L'avance de la marée haute par rapport à la marée basse semble un peu moins prononcée que pour la marée moyenne. Toutefois le décalage relatif des courbes reste plus fort vers marée haute que vers marée basse.

CHAPITRE II.

CALCUL DE L'INFLUENCE DES ENDIGUEMENTS PAR LA METHODE

DES VARIATIONS.

§ 1. Principes de la méthode.

Pour vérifier les résultats du chapitre I, nous étudierons maintenant l'influence de l'endiguement par la méthode des variations.

Dans cette méthode on calcule d'abord le régime du fleuve non endigué et, ensuite, la perturbation ou onde complémentaire résultat de l'endiguement. La superposition de cette onde complémentaire au régime initial donne le régime modifié.

En ce qui concerne le régime initial de la marée-tempête, nous nous basons sur les calculs du chapitre précédent, § 5.

Pour la marée moyenne, nous reprendrons d'abord le calcul du régime normal en nous servant cette fois-ci des cotes de mi-marée moyenne.

§ 2. Calcul de la marée moyenne.

La considération des cotes de mi-marée moyenne nous amène à prendre l'intervalle T égal à un soixante-huitième de la période de la marée. Le calcul des subdivisions et des coefficients n'offrant aucun intérêt, nous communiquerons uniquement les résultats.

Les cumulées des profils sont respectivement (en Km.) :
3,3 (profil 0) - 17,1 - 29,8 - 42,7 - 53,0 - 63,4 - 74,6 -
86,7 - 97,7 - 106,8 - 115,8 - 125,4 - 134,2 - 144,1 -
149,7 - 156,7 - 163,1 (profil 16).

Le tableau des coefficients est donné à l'annexe I2.

Les calculs ont été effectués séparément par M. Dermience et par nous.

Les calculs de M. Dermience sont reproduits aux annexes I2, I3 et I4.

Les annexes I5 à 23 représentent les résultats au point de vue cotes. En haut de chaque feuille sont inscrits les chiffres trouvés respectivement par M. Dermience et par nous. Les courbes tracées correspondent aux moyennes des deux séries de chiffres.

Comme précédemment, nous déduisons de ces résultats les cotes et heures des marées hautes et des marées basses dans quelques stations marégraphiques.

Station marégraphique.	Marée haute		Marée basse	
	Cote	Heure	Cote	Heure
Lillo	479	2h10	24	8h30
Anvers	491	2h30	26	9h10
Hingene	490	3h10	39	9h50

En nous référant aux chiffres correspondants du § 3, chapitre I, nous voyons que les résultats diffèrent très peu. Cette correspondance apparaît également dans la forme des courbes calculées, comme le montre l'annexe 68, qui représente les courbes-marée au profil 8, lequel a sensiblement la même cumulée dans les deux cas.

§ 3. Calcul des perturbations que l'endiguement apporte à la marée moyenne.

Le calcul est basé sur le principe suivant : On établit les équations de mouvement pour le régime normal. On établit ensuite les équations pour le régime modifié, où figureront, à côté des hauteurs et débits normaux, les "sur-hauteurs" et "sur-débits" résultant de la modification.

En faisant la différence entre ces deux systèmes, on obtient des équations où ces "sur-hauteurs" et "sur-débits" figurent comme fonctions inconnues. On déduit finalement de ces équations des formules simples permettant de calculer progressivement les fonctions inconnues.

Pour les détails pratiques des calculs nous renvoyons au chapitre suivant. Les résultats sont reproduits à l'annexe 24.

En superposant les "sur-hauteurs" aux cotes normales, on obtient les courbes-marée du régime modifié. Nous avons dessiné ces courbes résultantes, pour les profils 2 à 8, aux annexes 17 à 23.

En les comparant aux courbes de l'annexe 3, on constate un parallélisme certain entre les résultats obtenus, d'un côté par la méthode directe, de l'autre côté par la méthode des variations. Toutefois les relèvements de marée haute sont un peu plus forts dans le second cas, comme il résulte du tableau suivant :

Station marégraphique.	Relèvement de marée haute	
	Méthode directe	Méthode des variations
Saaftinge	9 cm.	13 cm.
Lillo	7 cm.	13 cm.
Anvers	7 cm.	13 cm.
Hingene	5 cm.	8 cm.

En ce qui concerne l'avance de l'heure de marée haute, le décallage de la partie supérieure de l'onde est un peu moins prononcé, mais on peut cependant conclure à une différence de l'ordre de 10 minutes sur le tronçon Saaftinge-Hingene.

§ 4. Calcul des perturbations de la marée-tempête par l'endiguement.

Pour la marée-tempête les calculs ont été effectués de la même façon que pour la marée moyenne.

Les annexes 25, 26 et 27 reproduisent le calcul des perturbations.

Les courbes en tirets des annexes 10 et 11 représentent les marégrammes modifiés par l'endiguement. Au haut des feuilles nous avons inscrit les cotes calculées respectivement par M. Dermience et par nous. Les courbes dessinées correspondent aux moyennes de ces chiffres, qui sont d'ailleurs peu différents.

Comme nous avons déjà, sur les mêmes figures, dessiné les courbes modifiées trouvées par la méthode directe, on constate la bonne coïncidence entre les deux résultats. On note toutefois que le calcul des variations donne des cotes de marée haute légèrement supérieures. Cela ressort également du tableau suivant, qui compare les relèvements de marée haute calculés par les deux méthodes.

Station marégraphique.	Relèvement de marée haute-tempête	
	Méthode directe	Méthode des variations.
Saaftinge	22 om.	22 om.
Lillo	16 om.	24 om.
Anvers	15 om.	23 om.
Hingene	14 om.	22 om.

CHAPITRE III.

INDICATIONS CONCERNANT L'EXECUTION DES CALCULS.

§ 1. Profils en travers.

Les profils en travers utilisés dans les calculs sont, à une petite restriction près, pour l'Escaut Occidental, ceux qui ont servi à la construction du modèle.

Chaque profil est complètement déterminé par sa cumulée à partir de l'embouchure du fleuve, par les largeurs totales aux différentes cotes (de 0 à 800) et par les profondeurs moyennes (surface divisée par largeur) correspondantes. Ces chiffres sont consignés aux tableaux A des annexes 28 à 31.

Pour les profils B.E.1 à B.E.5I qui sont ceux de l'Escaut Occidental, il a fallu vaincre une petite difficulté. En effet, dans ce bras de mer, de très grande largeur et à tracé sinueux, l'entredistance des profils

est considérablement plus petite que la largeur du fleuve. Comme les profils successifs ne sont pas parallèles, il est difficile de déterminer leur entredistance et donc aussi leur cumulée. Ainsi, la longueur totale de l'Escaut entre l'embouchure et Lillo peut varier de 64,2 Km., si l'on prend l'axe du fleuve, à 73,3 Km., si l'on mesure suivant le thalweg.

Nous avons choisi une solution moyenne, en mesurant suivant la courbe qui relie les centres de gravité des parties sous marée basse des différents profils. Le poste de Lillo se situe alors à la cumulée 68,2 Km., ce qui est environ la moyenne des deux chiffres précités.

Les profils présentent une inclinaison variable par rapport aux normales à cette courbe; nous en avons tenu compte en multipliant les largeurs, mesurées suivant le profil, par des coefficients de réduction convenablement choisis. Ces coefficients figurent dans la colonne "Observations" des annexes 28 et 29.

Comme entredistance nous avons pris le chiffre moyen de 1100 mètres. Il est en effet illusoire de mesurer exactement des entredistances qui ne sont pas exactement définies.

Il est certain que ce procédé, s'il n'est pas absolument conforme à la réalité, ne s'en écarte cependant pas beaucoup. De toute façon il permet de calculer le régime des marées avec une exactitude satisfaisante.

En amont de Lillo ces difficultés ne se présentent plus, les profils étant nettement normaux à l'axe du fleuve et leur entredistance étant plus grande que la largeur du cours d'eau.

Les tableaux B des annexes 32 à 35 donnent les largeurs et profondeurs cumulées, ce qui facilite le calcul des valeurs moyennes entre deux profils quelconques.

§ 2. Subdivision en tronçons.

La subdivision en tronçons pour les calculs du chapitre I est basée sur les cotes de mi-marée-tempête, ces cotes étant obtenues en prenant les moyennes des marées hautes maxima et des marées basses immédiatement précédentes. Ces chiffres nous ont été communiqués par le laboratoire (essais effectués avec le barrage de Gentbrugge ouvert) : Flessingue 359 - Terneuzen 362 - Hansweert 367 - Lillo 393 - Anvers 398 - Hingene 417 - Tielrode 446 - Termonde 524 - Wetteren 593 - Gentbrugge 640.

Comme intervalle de temps nous prenons un septantième de la période de la marée, d'où $2T = 1277$ secondes.

Ce choix est déterminé par les conditions suivantes :

- l'intervalle doit être un sous-multiple entier de la période et ne doit pas être trop grand par rapport aux sinuosités des courbes-marée.
- les tronçons ne peuvent pas être trop longs.
- il faut que Saaftinge et les confluent coïncident avec des profils où la formule qui traduit la condition de continuité est d'application.

Les annexes 36 et 37 reproduisent les calculs nécessaires.

On commence par subdiviser le fleuve en tronçons d'environ 5 Km.. Pour chaque tronçon on calcule, au moyen des chiffres des tableaux B la profondeur moyenne, aux cotes entières encadrant la cote de mi-marée locale. On calcule alors les valeurs régularisées aux points tels que c, e, g, etc... d'où l'on déduit finalement les profondeurs H correspondant chaque fois à la cote de mi-marée. On calcule ensuite les longueurs $2L$ correspondant à ces profondeurs et à l'intervalle de temps choisi. Cela permet de tracer le diagramme en trait plein de l'annexe 37, qui donne la variation de $2L$ suivant le profil en long. On en déduit facilement, par compensation de surfaces, la longueur des tronçons consécutifs.

L'annexe 38 donne les profondeurs et largeurs moyennes des divers tronçons.

§ 3. Calcul des surlargeurs.

Pour l'Escaut Occidental il importe de considérer séparément les parties du lit (bancs de sable, schorres) qui ne participent pratiquement pas à l'écoulement des eaux, tout en jouant un rôle important comme capacités d'emmagasinement.

A défaut de définition rigoureuse nous devons encore nous contenter d'une hypothèse acceptable. Nous supposons que la section d'écoulement est une section parabolique, les éléments de la parabole étant déterminés par la largeur et la profondeur à la cote 0. De cette façon la section sous marée basse participe complètement à l'écoulement. De plus, la largeur d'écoulement augmente dans une certaine mesure avec le niveau d'eau. Nous tenons donc compte du fait que certaines parties du lit, peu profondes à marée basse, offrent relativement moins de résistance lorsque le niveau d'eau monte.

La largeur d'écoulement étant ainsi déterminée, la "surlargeur" s'obtient facilement en soustrayant la largeur d'écoulement de la largeur totale. Les calculs figurent à l'annexe 39.

§ 4. Calcul des coefficients a, b et c.

Tous les éléments des tronçons étant déterminés, le calcul des coefficients a, b et c n'offre aucune difficulté (annexes 40 à 44). Notons qu'au point "1" on tient compte, pour le calcul du coefficient b, de la capacité d'emmagasinement du Braakman (annexe 40).

§ 5. Remarque concernant l'hypothèse faite au chapitre I au sujet de la surface endiguée.

La cote de marée haute moyenne calculée à l'endroit de l'endiguement (profil 4) est égale à 466 (voir annexe 2, profil 4, subdivision 5 de l'axe des temps). La valeur correspondante du coefficient b est de 35800 m² par seconde. Il y correspond une surface totale d'emmagasinement de $2T \times b$, soit $1277 \times 35800 = \underline{45.700.000 \text{ m}^2}$.

Dans le calcul de l'influence de l'endiguement (chapitre I, § 4), nous laissons b constant et égal à sa valeur pour la cote 0, qui est de 16600 m² par seconde. Il y correspond une surface d'emmagasinement de 21.200.000 m².

Notre hypothèse donne donc une surface endiguée, à la cote de marée haute de $45.700.000 - 21.200.000 = \underline{24.500.000 \text{ m}^2}$.

Or, à l'annexe 54 sont données les surfaces endiguées dans le modèle aux différentes cotes. Pour la cote 400 nous avons 16.600.000 m² et, pour la cote 500, ce chiffre devient 30.100.000 m². Par interpolation nous obtenons une surface endiguée, à la cote de marée haute, de 25.500.000 m², ce qui correspond bien avec notre hypothèse.

- Les mêmes opérations donnent, pour la marée-tempête :
- cote de marée haute calculée au profil 4 : 683.
 - surfaces totales déduites des valeurs de b aux cotes 683 et 0 : 52.300.000 et 21.200.000 m².
 - surface d'endiguement supposée à marée haute : $52.300.000 - 21.200.000 = \underline{31.100.000 \text{ m}^2}$.
 - surface endiguée en modèle, déduite de l'annexe 54 : 33.200.000 m².

§ 6. Influence des affluents.

Respectivement à Hingene (Km. 97) et à Tielrode (Km. 107,6) l'Escaut reçoit les affluents maritimes Rupel et Durme.

Il n'y aurait aucune difficulté à calculer la propagation de l'onde-marée dans ces rivières. Mais, pour permettre de suivre et vérifier plus facilement nos calculs, il est plus simple de remplacer ces rivières par des élargissements équivalents de l'Escaut en amont de leur embouchure.

Ces élargissements sont calculés de façon que le fleuve élargi ait la même capacité de marée que le système fleuve-affluents qu'il remplace. L'annexe 45 donne les calculs effectués dans ce but.

§ 7. Conditions aux limites pour les calculs de la marée moyenne du chapitre I.

Comme il s'agit d'un régime périodique, la situation initiale a peu d'importance.

Nous sommes partis d'un écoulement permanent correspondant à la cote de marée basse à Flessingue et aux débits d'amont de la marée moyenne. Le régime périodique est obtenu après une marée environ.

La courbe-marée aval est celle du modèle; elle est représentée à l'annexe I5.

Les débits d'amont introduits sont ceux du modèle, à savoir :

Gentbrugge	30 m ³ /sec.
Termonde	14 m ³ /sec.
Durme	2 m ³ /sec.
Rupel	47 m ³ /sec.
Hemixem	14 m ³ /sec.

Comme nous élargissons la partie amont de l'Escaut (voir annexe 45) dans un rapport indiqué par le coefficient 1,589, il convient d'introduire à Gentbrugge, soit en amont de la section I5, un débit de $1,589 \times 30 = 48 \text{ m}^3/\text{sec.}$

De même, nous introduisons au profil 11 (Termonde) un débit de $1,589 \times 14 = 22 \text{ m}^3/\text{sec.}$

Nous avons ainsi introduit $48 + 22 - 30 - 14 = 26 \text{ m}^3/\text{sec.}$ de trop. En déduisant cette quantité du débit du Rupel, mais en y ajoutant les $2 \text{ m}^3/\text{sec.}$ de la Durme, il nous reste à fournir au profil 8 : $47 - 26 + 2 = 23 \text{ m}^3/\text{sec.}$

Pour résumer, nous avons introduit comme débits :

profil I5 (amont)	48 m ³ /sec.
11	22
8	23
7	14

La situation est donc un peu faussée à l'embouchure du Rupel, mais l'influence du débit latéral est déjà faible en cet endroit.

§ 8. Conditions aux limites pour la marée-tempête.

Les annexes 46 et 47 donnent les renseignements utiles concernant les conditions aux limites utilisées pour le calcul de la marée-tempête.

Il est à noter que la courbe-marée aval, identique à celle du modèle, diffère de la courbe réelle. La raison en est que, ni dans le calcul, ni dans le modèle, on n'a pu introduire l'effet du vent sur l'Escaut Occidental. Cet effet a été remplacé dans les deux cas par un léger rehaussement de la courbe-marée aval.

§ 9. Remarques concernant le calcul de la marée moyenne du chapitre II.

Pour le calcul de marée moyenne du chapitre I nous nous sommes basés sur les profondeurs à mi-marée de la marée-tempête, ce qui nous écarte un peu des hypothèses de la méthode dite des "lignes d'influence".

Les calculs ont été refaits au chapitre II, en prenant cette fois-ci les profondeurs à mi-marée de la marée moyenne. Nous avons trouvé que la différence entre les résultats des deux calculs est minime.

Nous ne reproduisons pas les calculs préparatoires qui mènent au tableau des coefficients a, b et c de l'annexe I2.

Il suffit de noter que nous avons pris un intervalle $2T = 1315$ secondes. Il en résulte la subdivision en tronçons du chapitre II, § 2. Les limites des tronçons étant déterminées, on en déduit facilement les largeurs et profondeurs et, ensuite, les coefficients a, b et c. Nous avons tenu compte des affluents selon la méthode exposée au chapitre III, § 6. Finalement les conditions aux limites ont été les mêmes que celle des essais sur modèle.

Pour les coefficients de rugosité nous avons pris les mêmes valeurs qu'au chapitre I, soit :

1,80	entre	les	profils	0	et	5;
1,50	"	"	"	5	et	8;
2,60	"	"	"	8	et	11;
1,60	en amont du profil 11.					

Comme les cumulées de ces profils ne coïncident pas exactement dans les deux calculs, la rugosité moyenne générale n'est pas tout à fait la même dans les deux cas.

§ 10. Application des formules de la méthode dite des "lignes d'influence".

Quoique l'application des formules soit très simple, nous en donnons un exemple à l'annexe 48. L'exemple se rapporte aux calculs de l'annexe 12.

§ 11. Remarque concernant les corrections.

Comme nous l'avons fait remarquer précédemment, la notation (c) que l'on trouve à côté de certains chiffres des tableaux de calcul indique que le chiffre correspondant a été corrigé.

La nécessité de ces corrections apparaît dès que les courbes calculées commencent à présenter de fortes oscillations. On retrouve ces oscillations, par exemple, sur les courbes dessinées en trait fin aux annexes 10 et 11. On établit la correction à apporter en remplaçant le tracé sinueux par une courbe plus continue.

En général il suffit de corriger uniquement les divergences les plus flagrantes se présentant dans les lignes d'eau instantanées. Les corrections se font alors sur des groupes de deux ou trois profils consécutifs, en prenant soin que leur somme algébrique soit nulle. Ainsi on ajoute, par exemple, 5 om. à la cote d'un premier profil, on retranche 10 cm. du profil suivant et on ajoute 5 om. au troisième.

Ces corrections se présentent surtout immédiatement après les étales. Elles ne peuvent donc pas affecter les cotes de marée haute ou de marée basse.

§ 12. Calcul de l'influence par la méthode des variations.

Les annexes 49 à 53 donnent tous les renseignements nécessaires quant au calcul des perturbations de la marée moyenne par suite de l'endiguement.

Les annexes 54 à 60 donnent les mêmes renseignements pour la marée-tempête.

§ 13. Correction de la formule des débits.

Quand nous avons exécuté les premiers calculs de cette étude, nous avons voulu corriger la formule des débits, qui n'est pas tout à fait exacte aux environs des étales.

Les annexes 61 à 65 donnent la justification et des exemples d'application d'une formule permettant de calculer plus exactement ce qui se passe aux environs des étales.

Comme les résultats ne diffèrent pas sensiblement de ceux que l'on obtient par la formule ordinaire, nous avons par la suite abandonné cette correction. Elle ne permettrait d'ailleurs pas d'éliminer les fortes oscillations des courbes aux environs des étales. Nous la mentionnons uniquement parce que cette formule corrigée a été utilisée pour certains calculs, là où il y avait lieu de le faire.

§ 14. Influence des termes d'inertie secondaires.

Les formules de la méthode dite des "lignes d'influence" sont établies en omettant les termes d'inertie secondaires.

Quoique, dans le cas de l'Escaut, cela n'ait pas beaucoup d'importance, surtout pour des calculs comparatifs, nous donnons aux annexes 66 et 67 une formule des débits perfectionnée, permettant de tenir compte du plus important des termes négligés.

Nous nous sommes parfois servis de cette formule, mais nous ne joignons pas d'exemples de calcul à la présente étude.

L'annexe 69 montre, au profil 8 (Hingene), la courbe-marée calculée au chapitre II, comparée à celle obtenue en tenant compte de la nouvelle formule. La figure montre

que, avec cette dernière formule, les cotes de marée haute et marée basse ne sont pratiquement pas changées. Par contre, on remarque un relèvement presque général des cotes intermédiaires.

CHAPITRE IV.

CONCLUSIONS GENERALES.

Nous avons calculé de deux façons différentes l'influence de l'endiguement de Saaftinge sur le régime des marées de l'Escaut Maritime : une première fois par le calcul direct des situations avant et après endiguement ; une seconde fois en calculant la perturbation ou onde complémentaire résultant de l'endiguement. Dans chaque cas nous avons considéré successivement le régime moyen et le régime de tempête.

Tous ces calculs ont été effectués au moyen de la méthode dite des "lignes d'influence".

Dans cette méthode on est parfois obligé, en cours de route, d'effectuer certaines corrections, au moment où les courbes calculées deviennent trop saccadées. Cela ne compromet toutefois pas l'exactitude des résultats. En effet, plusieurs calculs ont été effectués indépendamment par M. Dermience et par nous et, malgré lesdites corrections, les résultats finaux ne sont pas sensiblement différents.

Une autre difficulté réside dans le fait que cette méthode suppose que la célérité des perturbations reste constante, alors que théoriquement elle devrait varier avec le niveau d'eau. Nous croyons que cela n'influence pas beaucoup les résultats. En effet, la marée moyenne a été calculée, une première fois avec les célérités correspondant au niveau de mi-marée-tempête, une seconde fois

avec les célérités correspondant au niveau de mi-marée moyenne, sans que les résultats diffèrent sensiblement.

Un dernier facteur qui pourrait influencer l'exactitude des résultats est que, dans nos calculs, nous avons négligé les termes d'inertie secondaires. Nous avons effectué des calculs de contrôle, en tenant compte du plus important de ces termes; la différence trouvée est minime.

Eu égard à ce qui précède nous croyons que les résultats des calculs peuvent être considérés comme relativement conformes à la réalité et assurément dignes de confiance pour des études comparatives.

Pour la marée moyenne, l'endiguement aura les conséquences suivantes :

- a) un relèvement de la marée haute de l'ordre de 10 à 5 cm. dans la région Saaftinge-Hingene.
- b) une réduction de la puissance hydraulique du fleuve, en aval de l'endiguement, de l'ordre de 10 %, à quelques Km. en aval de Saaftinge.
- c) une augmentation de la puissance hydraulique, de l'ordre de 2 %, en amont de l'endiguement.
- d) une réduction de la durée du gagnant, en faveur de celle du perdant, de l'ordre de 10 minutes dans la région de Saaftinge-Hingene.

Il convient de noter que ce dernier chiffre n'est qu'une estimation assez grossière, les cotes étant calculées à des intervalles de temps de 20 minutes environ.

Au point de vue marée-tempête, seul le relèvement de marée haute nous intéresse. Il sera de l'ordre de 20 à 15 cm. dans la région Saaftinge-Hingene.

Décembre 1951.

H. HOLSTERS.

LISTE DES ANNEXES.

-
- 1, 2 Calcul de la marée moyenne, avant et après endiguement, au moyen des coefficients a, b et c de la marée-tempête.
 - 3 Courbes-marée de la marée moyenne avant et après endiguement.
 - 4 à 9 Calcul de la marée-tempête avant et après endiguement.
 - 10, 11 Courbes-marée de la marée-tempête avant et après endiguement.
 - 12, 13, } Calcul de la marée moyenne, au moyen des coefficients a, b et c de la marée moyenne.
 & 14 }
 - 15 à 23 Courbes-marée de la marée moyenne, avant et après endiguement (résultats des annexes 12, 13, 14 et 24).
 - 24 Influence de l'endiguement sur la marée moyenne, calculée par la méthode des variations.
 - 25, 26 } Influence de l'endiguement sur la marée-tempête,
 & 27 } calculée par la méthode des variations.
 - 28 à 31 Tableaux A.
 - 32 à 35 Tableaux B.
 - 36, 37 Calcul de la longueur des tronçons.
 - 38 Calcul des profondeurs et largeurs moyennes.
 - 39 Calcul des surlargeurs.
 - 40 à 44 Calcul des coefficients a, b et c.
 - 45 Influence des affluents.
 - 46, 47 Conditions aux limites de la marée-tempête.
 - 48 Exemple de calcul.

- 49 à 53 Calculs préparatoires pour le calcul de l'influence sur la marée moyenne, au moyen de la méthode des variations.
- 54 à 60 Calculs préparatoires pour le calcul de l'influence sur la marée-tempête, au moyen de la méthode des variations.
- 61 à 65 Correction de la formule des débits.
- 66, 67 Influence des termes d'inertie secondaires.
- 68, 69 Courbes-marée au profil 8.
- 70 Brochure H. Holsters : "Le calcul du mouvement non permanent dans les rivières par la méthode dite des lignes d'influence". Revue générale de l'Hydraulique, Nos. 37 à 41.
-

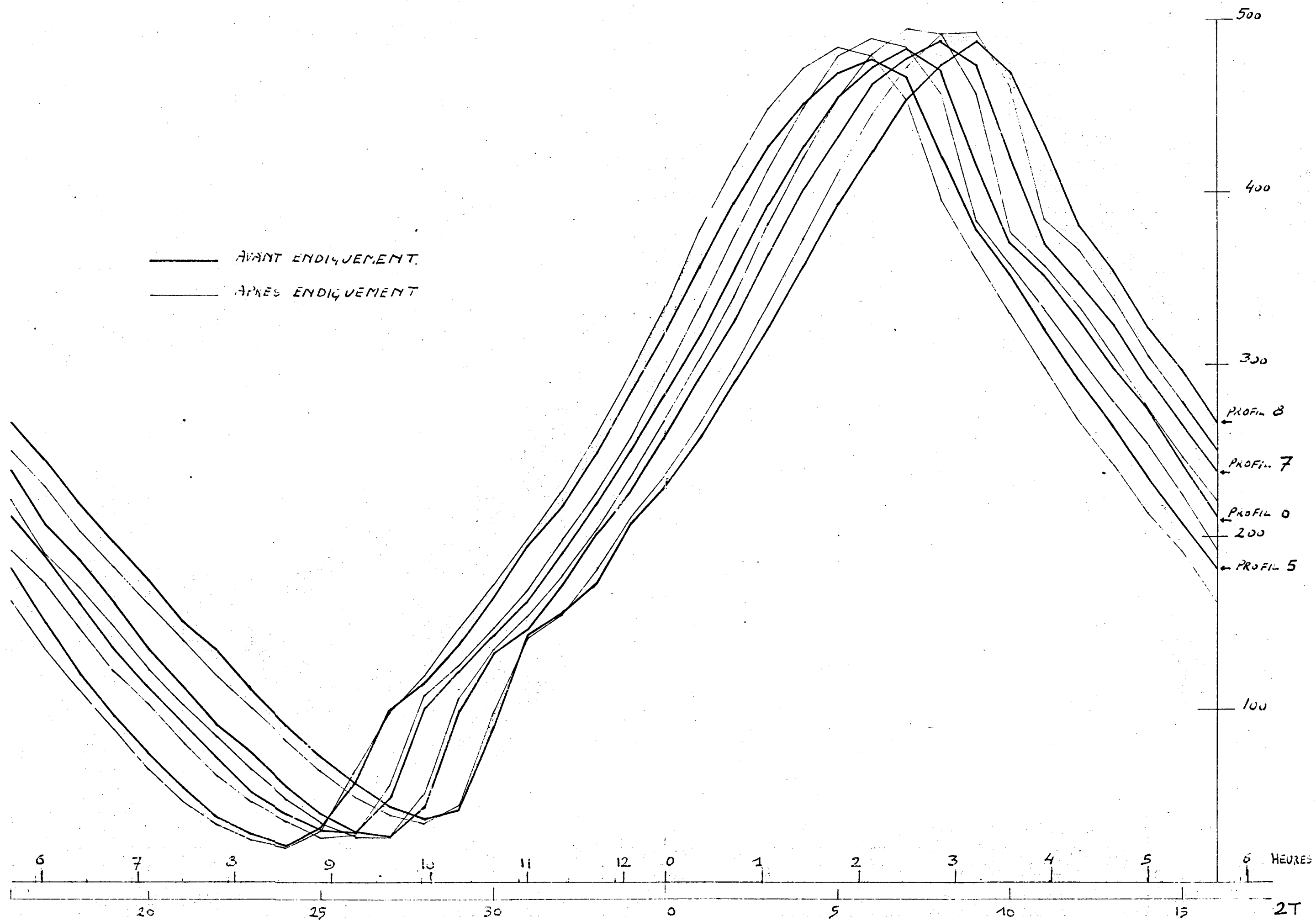
	0	0-1	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	5-6	6	6-7	7	7-8	8	8-9	9	9-10	10	10-11	11	11-12	12	12-13	13	13-14	14	14-15	15
9	250 250	-63.000 -57.000	270 270	-43.000 -41.200	311 304	-30.300 -15.700	336 329	-18.200 -15.700	363 337	-2.800 -10.900	377 363	-4.800 -1.800	410 390	-1.330 -3.790	425 410	1620 615	445 403	1950	461 452	1.270 1.340	480 448	1.700 1.600	500 492	1.900 1.800	520 490	2.25 2.25	540 500	2.50 2.50	2.90 2.90	2.97	
10	222 222	-61.000 -57.000	245 244	-44.000 -41.200	282 275	-30.600 -25.400	306 280	-17.300 -16.300	332 299	-9.700 -9.450	350 319	-4.900 -4.750	381 367	-1.800 -4.270	400 380	-1.100 -1.755	415 390	1.320 260	429 445	1.200 1.040	449 445	1.600 1.600	469 462	1.800 1.800	489 480	2.00 2.00	509 490	2.20 2.20	2.50 2.50	2.50	
11	194 194	-58.500 -56.800	216 217	-42.800 -35.000	250 232	-29.000 -27.900	276 258	-17.500 -13.500	299 271	-9.600 -9.100	320 292	-5.300 -5.300	349 325	-3.300 -3.000	369 349	-2.770 -2.900	389 363	-1.400 -2.600	409 405	1.400 1.400	429 425	1.600 1.600	449 445	1.800 1.800	469 460	1.90 1.90	489 480	2.00 2.00	2.20 2.20	2.20	
12	165 165	-57.000 -50.800	188 178	-40.200 -33.800	218 210	-27.100 -25.300	240 220	-17.100 -13.300	264 237	-8.800 -8.600	284 259	-5.400 -6.200	310 280	-3.900 -3.680	333 315	-2.900 -3.300	353 325	-1.600 -1.430	373 342	1.570 1.410	393 377	1.700 1.600	393 380	1.900 1.800	413 402	2.10 2.10	433 420	2.30 2.30	2.50 2.50	2.50	
13	135 135	-53.000 -47.300	157 150	-38.000 -36.200	188 182	-26.100 -21.800	208 190	-14.100 -13.800	237 216	-9.200 -9.200	259 234	-5.800 -5.900	280 270	-4.100 -3.900	305 285	-2.600 -2.400	325 305	-1.530 -1.430	345 325	1.570 1.570	365 345	1.700 1.700	385 377	1.900 1.800	405 402	2.10 2.10	425 420	2.30 2.30	2.50 2.50	2.50	
14	108 108	-50.500 -48.000	125 129	-32.000 -32.000	159 147	-24.800 -22.300	180 164	-13.200 -13.100	207 180	-8.200 -8.900	229 204	-5.700 -5.800	250 238	-3.500 -3.500	269 243	-2.350 -2.300	289 265	-1.450 -1.450	309 285	1.450 1.450	329 315	1.600 1.600	349 334	1.800 1.800	409 402	2.20 2.20	429 420	2.40 2.40	2.60 2.60	2.60	
15	87 87	-45.000 -43.000	99 92	-34.600 -30.700	122 122	-23.900 -21.200	143 137	-14.800 -12.900	163 163	-8.900 -8.500	183 181	-5.700 -4.700	203 192	-3.500 -3.400	223 221	-2.350 -2.180	243 227	-1.450 -1.490	263 249	1.450 -1.490	283 269	1.600 1.600	283 269	1.800 1.800	303 289	2.00 2.00	323 309	2.20 2.20	2.40 2.40	2.40	
16	70 70	-40.000 -36.000	79 73	-30.700 -29.600	97 91	-22.700 -19.700	118 110	-12.900 -12.500	137 137	-8.500 -8.100	157 163	-5.000 -4.700	177 179	-3.400 -3.400	197 192	-2.220 -2.180	217 221	-1.450 -1.490	237 249	1.450 -1.490	257 269	1.600 1.600	277 283	1.800 1.800	297 303	2.00 2.00	317 323	2.20 2.20	2.40 2.40	2.40	
17	60 60	-32.000 -29.800	59 57	-28.000 -25.000	79 71	-20.000 -19.000	99 91	-14.100 -11.700	111 111	-8.000 -7.350	131 121	-4.950 -4.700	151 147	-3.100 -2.900	171 167	-2.350 -2.180	191 187	-1.450 -1.350	211 203	1.450 1.350	231 223	1.600 1.600	251 243	1.800 1.800	271 263	1.90 1.90	291 283	2.10 2.10	2.30 2.30	2.30	
18	55 55	-25.000 -23.000	50 50	-22.800 -20.600	55 46	-16.400 -16.400	72 63	-10.800 -10.900	85 72	-7.350 -7.120	105 96	-4.700 -4.500	125 135	-3.100 -2.900	145 149	-2.350 -2.050	165 162	-1.350 -1.350	185 182	1.350 1.350	205 203	1.600 1.600	225 222	1.800 1.800	245 243	1.90 1.90	265 263	2.10 2.10	2.30 2.30	2.30	
19	52 52	-18.800 -16.700	46 45	-17.900 -16.200	44 44	-12.700 -12.400	61 51	-10.800 -10.900	72 63	-6.850 -6.720	88 88	-4.500 -4.100	108 122	-3.100 -3.000	128 135	-2.350 -2.050	148 149	-1.350 -1.350	168 162	1.350 1.350	188 182	1.600 1.600	208 203	1.800 1.800	228 222	1.90 1.90	248 243	2.10 2.10	2.30 2.30	2.30	
20	58 58	-9.700 -7.900	44 44	-12.700 -10.600	54 44	-9.200 -8.500	61 51	-10.800 -10.900	72 63	-6.850 -6.720	88 88	-4.500 -4.100	108 122	-3.100 -3.000	128 135	-2.350 -2.050	148 149	-1.350 -1.350	168 162	1.350 1.350	188 182	1.600 1.600	208 203	1.800 1.800	228 222	1.90 1.90	248 243	2.10 2.10	2.30 2.30	2.30	
21	69 69	+1.100 2.900	54 50	-5.350 -3.800	64 64	-2.320 -2.040	72 63	-10.800 -10.900	85 72	-7.350 -7.120	105 96	-4.700 -4.500	125 135	-3.100 -2.900	145 149	-2.350 -2.050	165 162	-1.350 -1.350	185 182	1.350 1.350	205 203	1.600 1.600	225 222	1.800 1.800	245 243	1.90 1.90	265 263	2.10 2.10	2.30 2.30	2.30	
22	83 83	11.800 13.500	64 64	3.320 4.700	72 63	-2.320 -2.040	85 72	-10.800 -10.900	105 96	-4.700 -4.500	125 135	-3.100 -2.900	145 149	-2.350 -2.050	165 162	-1.350 -1.350	185 182	1.350 1.350	205 203	1.600 1.600	225 222	1.800 1.800	245 243	1.90 1.90	265 263	2.10 2.10	2.30 2.30	2.30	2.30	2.30	
23	100 100	21.500 22.300	82 82	11.600 12.700	97 89	4.240 4.660	105 96	-10.800 -10.900	125 109	-3.100 -2.900	145 122	-2.350 -2.050	165 145	-1.350 -1.350	185 165	1.350 1.350	205 185	1.600 1.600	225 205	1.800 1.800	245 225	1.90 1.90	265 245	2.10 2.10	2.30 2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	
24	118 118	28.300 29.400	101 101	18.100 18.300	117 107	9.200 10.600	125 109	-3.100 -2.900	145 122	-2.350 -2.050	165 145	-1.350 -1.350	185 165	1.350 1.350	205 185	1.600 1.600	225 205	1.800 1.800	245 225	1.90 1.90	265 245	2.10 2.10	2.30 2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	
25	140 140	34.600 34.900	122 123	21.500 22.600	139 130	13.900 13.900	159 149	-3.100 -2.900	179 169	-3.100 -2.900	199 189	-3.100 -2.900	219 209	-3.100 -2.900	239 229	-3.100 -2.900	259 249	-3.100 -2.900	279 269	1.90 1.90	299 289	2.10 2.10	319 309	2.30 2.30	339 329	2.50 2.50	359 349	2.70 2.70	2.90 2.90	3.10 3.10	3.30
26	165 165	39.900 39.300	145 146	25.900 25.300	162 152	15.900 15.300	182 172	-3.100 -2.900	202 192	-3.100 -2.900	222 212	-3.100 -2.900	242 232	-3.100 -2.900	262 252	-3.100 -2.900	282 272	-3.100 -2.900	302 292	2.10 2.10	322 312	2.30 2.30	342 332	2.50 2.50	362 352	2.70 2.70	382 372	3.00 2.90	3.20 3.10	3.40 3.30	3.60
27	190 190	43.200 43.100	171 171	28.300 28.000	198 188	17.600 17.100	218 208	-3.100 -2.900	238 228	-3.100 -2.900	258 248	-3.100 -2.900	278 268	-3.100 -2.900	298 288	-3.100 -2.900	318 308	-3.100 -2.900	338 328	2.30 2.30	358 348	2.50 2.50	378 368	2.70 2.70	398 388	3.10 3.00	418 408	3.30 3.20	438 428	3.50 3.40	3.70
28	219 219	47.300 47.300	198 198	30.800 30.000	227 217	19.200 18.400	255 245																								

Calcul de la marée moyenne au large et après enlèvement
des coefficients a, b, etc de la marée temporelle

	0	0.1	1	1.2	2	2.3	3	3.4	4	4.5	5	5.6	6	6.7	7	7.8	8	8.9	9	9.10	10	10.1	11	11.2	12	12.3	13	13.4	14	14.5	15	
29	236		227		200		182		162		139		123 (a)		100 (c)		92		76		138		185		219		261		301		359	
30	237	53.000	228		200	20.300	187		165		140	6.930	126 (c)		107 (c)	680	95		68		131		177		209		259		298		348	
31	237	59.500	269		232	19.400	217		189		165 (a)	6.400	149 (c)		135 (c)	1000	99		69		127		174		202		252		290		337	
32	237	63.000	269		232	22.300	217		189		165 (a)	6.800	149 (c)		135 (c)	1.500	99		69		127		174		202		252		290		337	
33	237	67.000	269		232	27.900	217		189		165 (a)	6.820	149 (c)		135 (c)	2.570	99		69		127		174		202		252		290		337	
34	237	71.000	269		232	26.200	217		189		165 (a)	6.350	149 (c)		135 (c)	4.050	99		69		127		174		202		252		290		337	
35	237	70.500	269		232	25.200	217		189		165 (a)	6.350	149 (c)		135 (c)	4.100	99		69		127		174		202		252		290		337	
36	237	71.500	269		232	29.500	217		189		165 (a)	6.150	149 (c)		135 (c)	4.280	99		69		127		174		202		252		290		337	
37	237	72.600	269		232	29.000	217		189		165 (a)	6.500	149 (c)		135 (c)	4.360	99		69		127		174		202		252		290		337	
38	237	69.500	269		232	20.500	217		189		165 (a)	6.200	149 (c)		135 (c)	4.600	99		69		127		174		202		252		290		337	
39	237	68.000	269		232	32.400	217		189		165 (a)	6.600	149 (c)		135 (c)	4.700	99		69		127		174		202		252		290		337	
40	237	67.500	269		232	33.800	217		189		165 (a)	6.200	149 (c)		135 (c)	5.630	99		69		127		174		202		252		290		337	
41	237	57.000	269		232	39.400	217		189		165 (a)	11.700	149 (c)		135 (c)	5.660	99		69		127		174		202		252		290		337	
42	237	48.300	269		232	32.000	217		189		165 (a)	12.200	149 (c)		135 (c)	6.130	99		69		127		174		202		252		290		337	
43	237	39.400	269		232	30.900	217		189		165 (a)	12.700	149 (c)		135 (c)	6.380	99		69		127		174		202		252		290		337	
44	237	32.300	269		232	28.300	217		189		165 (a)	13.300	149 (c)		135 (c)	6.960	99		69		127		174		202		252		290		337	
45	237	16.300	269		232	26.200	217		189		165 (a)	17.100	149 (c)		135 (c)	6.220	99		69		127		174		202		252		290		337	
46	237	12.700	269		232	22.000	217		189		165 (a)	12.600	149 (c)		135 (c)	7.300	99		69		127		174		202		252		290		337	
47	237	7.100	269		232	18.000	217		189		165 (a)	12.000	149 (c)		135 (c)	7.230	99		69		127		174		202		252		290		337	
48	237	1.900	269		232	12.400	217		189		165 (a)	12.200	149 (c)		135 (c)	7.900	99		69		127		174		202		252		290		337	
49	237	1.900	269		232	6.800	217		189		165 (a)	8.100	149 (c)		135 (c)	6.630	99		69		127		174		202		252		290		337	
50	237	1.900	269		232	11.900	217		189		165 (a)	6.100	149 (c)		135 (c)	6.850	99		69		127		174		202		252		290		337	
51	237	1.900	269		232	6.000	217		189		165 (a)	3.900	149 (c)		135 (c)	5.350	99		69		127		174		202		252		290		337	
52	237	1.900	269		232	13.600	217		189		165 (a)	4.650	149 (c)		135 (c)	4.600	99		69		127		174		202		252		290		337	
53	237	1.900	269		232	18.800	217		189		165 (a)	2.300	149 (c)		135 (c)	4.080	99		69		127		174		202		252		290		337	
54	237	1.900	269		232	19.800	217		189		165 (a)	1.750	149 (c)		135 (c)	3.460	99		69		127		174		202		252		290		337	
55	237	1.900	269		232	26.100	217		189		165 (a)	15.300	149 (c)		135 (c)	3.600	99		69		127		174		202		252		290		337	
56	237	1.900	269		232	23.600	217		189		165 (a)	15.600	149 (c)		135 (c)	3.120	99		69		127		174		202		252		290		337	
57	237	1.900	269		232	28.700	217		189		165 (a)	16.800	149 (c)		135 (c)	2.670	99		69		127		174		202		252		290		337	
58	237	1.900	269		232	29.300	217		189		165 (a)	10.600	149 (c)		135 (c)	2.030	99		69		127		174		202		252		290		337	
59	237	1.900	269		232	28.700	217		189		165 (a)	10.600	149 (c)		135 (c)	2.730	99		69		127		174		202		252		290		337	
60	237	1.900	269		232	29.300	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	3.580	99		69		127		174		202		252		290		337	
61	237	1.900	269		232	28.700	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.770	99		69		127		174		202		252		290		337	
62	237	1.900	269		232	29.300	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.330	99		69		127		174		202		252		290		337	
63	237	1.900	269		232	28.700	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.670	99		69		127		174		202		252		290		337	
64	237	1.900	269		232	29.300	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.160	99		69		127		174		202		252		290		337	
65	237	1.900	269		232	28.700	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	3.060	99		69		127		174		202		252		290		337	
66	237	1.900	269		232	29.300	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	3.120	99		69		127		174		202		252		290		337	
67	237	1.900	269		232	28.700	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.290	99		69		127		174		202		252		290		337	
68	237	1.900	269		232	29.300	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.330	99		69		127		174		202		252		290		337	
69	237	1.900	269		232	28.700	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.670	99		69		127		174		202		252		290		337	
70	237	1.900	269		232	29.300	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.120	99		69		127		174		202		252		290		337	
71	237	1.900	269		232	28.700	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.200	99		69		127		174		202		252		290		337	
72	237	1.900	269		232	29.300	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.290	99		69		127		174		202		252		290		337	
73	237	1.900	269		232	28.700	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.330	99		69		127		174		202		252		290		337	
74	237	1.900	269		232	29.300	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.670	99		69		127		174		202		252		290		337	
75	237	1.900	269		232	28.700	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.160	99		69		127		174		202		252		290		337	
76	237	1.900	269		232	29.300	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	3.060	99		69		127		174		202		252		290		337	
77	237	1.900	269		232	28.700	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	3.120	99		69		127		174		202		252		290		337	
78	237	1.900	269		232	29.300	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.290	99		69		127		174		202		252		290		337	
79	237	1.900	269		232	28.700	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.330	99		69		127		174		202		252		290		337	
80	237	1.900	269		232	29.300	217		189		165 (a)	11.000	149 (c)		135 (c)	2.670	99		69		127		174		202		252		290		337	

*Courbes-marée de la marée moyenne
avant et après endiguement*

— AVANT ENDIGUEMENT.
— APRES ENDIGUEMENT



Annexe 4
Calcul de la
marée tempête

[illegible]

Q7. 28

[illegible]

[illegible]

[illegible]

14	726	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	157	158	152	1
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---

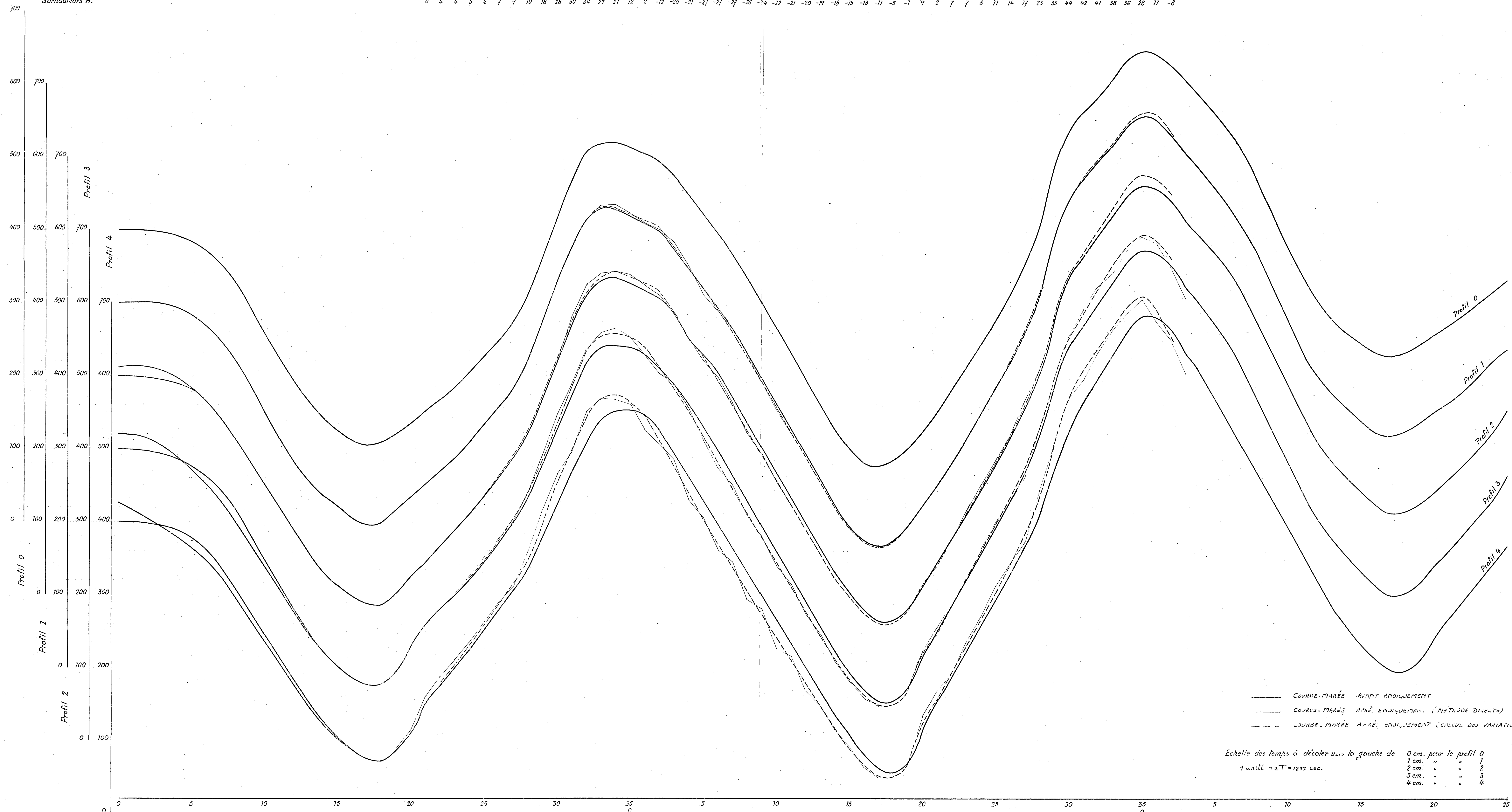
Kardinalien

	-0-	-0-7-	-7-	-1-2-	-2-	-2-3-	-3-	-3-4-	-4-	-4-5-	-5-	-5-6-	-6-	-6-7-	-7-	-7-8-	-8-	-8-9-	-9-	-9-10-	-10-	-10-11-	-11-	-11-12-	-12-	-12-13-	-13-	-13-14-	-14-	-14-15-	-15-	
33	604		597																													
34	634	+74.500	615	+66.000	596	+49.000	585	+40.000	470	+18.000	446	+6.800	378	+3.700	354	+2.120	337	+1.800	303	+246	240	-380	305	-360	326	-360	396	478	584	-286		
		+70.000	615	+61.500	596	+46.000	585	+41.500	470	+21.500	446	+780	378	+4.200	354	+2.320	337	+1.700	303	+316	329	-310	305	-310	326	-310	396	478	584	-286		
35	616	+70.000	615	+58.500	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
1	640	+63.000	615	+58.000	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
7	640	+46.000	615	+51.000	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
2	626	+46.000	615	+51.000	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
3	604	+22.200	615	+35.400	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
4	583	+11.200	615	+25.800	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
5	559	-2.340	615	+18.100	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
6	531	-20.000	615	-4.000	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
7	505	-39.500	615	-20.000	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
8	464	-56.000	615	-35.000	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
9	420	-66.000	615	-46.700	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
10	377	-81.000	615	-53.500	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
11	334	-92.500	615	-60.000	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
12	304	-95.000	615	-64.000	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
13	278	-93.200	615	-63.000	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
14	260	-83.000	615	-63.000	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
15	245	-74.000	615	-57.000	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
16	233	-64.000	615	-54.000	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
17	226	-56.000	615	-45.000	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
		-48.000	615	-40.000	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		
		-39.000	615	-34.000	602	+44.000	602	+33.600	584	+20.800	584	+2.500	477	+5.500	482	+2.330	394	+1.430	304	+338	341	-140	344	-280	335	-342	387	469	579	-286		

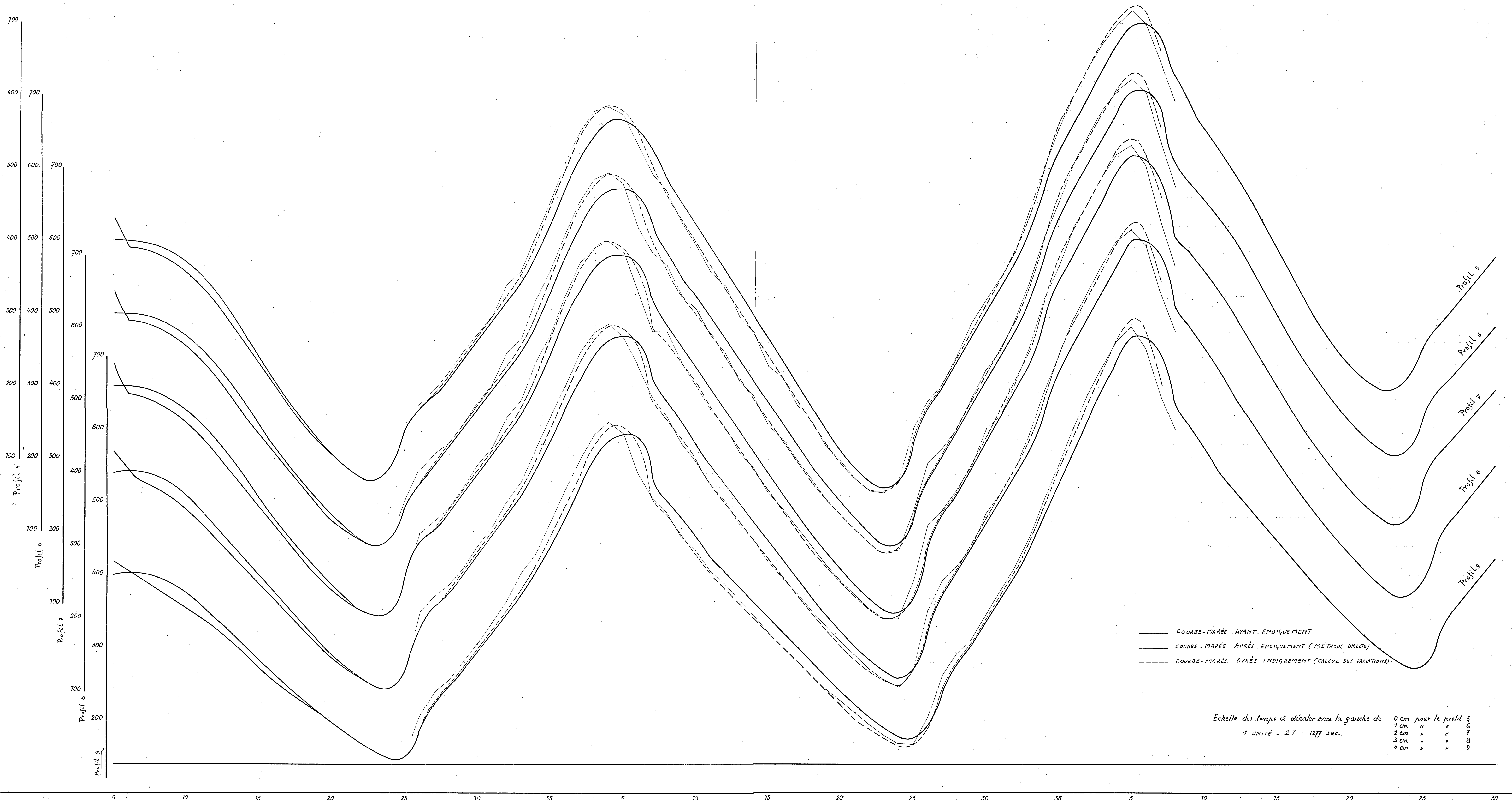
ANNEXE 8
Karl-Lumpert

	- 0 -	- 0 - 1 -	- 1 -	- 1 - 2 -	- 2 -	- 2 - 3 -	- 3 -	- 3 - 4 -	- 4 -	- 4 - 5 -	- 5 -	- 5 - 6 -	- 6 -	- 6 - 7 -	- 7 -	- 7 - 8 -	- 8 -	- 8 - 9 -	- 9 -	- 9 - 10 -	- 10 -	- 10 - 11 -	- 11 -	- 11 - 12 -	- 12 -	- 12 - 13 -	- 13 -	- 13 - 14 -	- 14 -	- 14 - 15 -	- 15 -	ANNEXE 9
17	226		225		240		253		286		379		367		404		451		497		550		605		643		667		795		833	Ilarée-icompâte
18	232	- 39.000	277	- 34.600	223	- 27.300	237	- 19.700	259	- 12.900	280	- 7.200	347	- 5.400	404	- 3.850	451	- 2.500	497	- 1.690	550	- 1.230	605	- 1.000	643	- 600	667	- 900	795	816	- 286	
19	242	- 24.800	224	- 28.600	271	- 23.400	213	- 17.200	237	- 10.500	259	- 7.800	300	- 4.950	369	- 3.750	422	- 2.480	474	- 7.640	528	- 1.290	596	- 630	598	- 970	704	721	816	- 286		
20	256	- 11.600	236	- 18.500	217	- 19.300	213	- 14.200	237	- 10.100	233	- 6.700	300	- 5.200	342	- 3.660	394	- 2.430	450	- 1.660	511	- 1.100 (c.)	560 (c.)	- 900 (c.)	615 (c.)	- 740 (c.)	670 (c.)	712 (c.)	788 (c.)	- 286		
21	268	+ 1.800	252	- 7.550	213	- 11.600	200	- 12.400	213	- 8.900	233	- 6.400	278	- 4.700	307	- 3.670	367	- 2.400	427	- 1.500	483	- 1.200	554	- 930	596	- 720	652	688	760	- 286		
22	282	+ 12.000	252	+ 5.000	223	- 3.700	200	- 8.400	213	- 7.800	213	- 5.900	253	- 4.400	283	- 3.460	339	- 2.220	400	- 1.570	468	- 1.190	542	- 800	571	- 640	620	688	727	- 286		
23	297	+ 23.000	264	+ 14.700	241	+ 5.700	216	- 2.460	274	- 5.950	278	- 5.200	230	- 4.200	267	- 3.180	312	- 2.180	380	- 7.500	448	- 1.100	519	- 780	552	- 650	610	654	712	- 286		
24	316	+ 32.500	279	+ 20.300	260	+ 12.300	240	+ 5.400	209	- 7.840	272	- 4.500	215	- 3.700	237	- 3.050	290	- 2.060	359	- 1.400	427	- 7.100	502	- 770	536	- 585	586	637	697	- 286		
25	330	+ 39.200	299	+ 25.600	278	+ 16.900	260	+ 9.100	240	+ 2.700	274	- 2.640	203	- 3.300	227	- 2.800	268	- 1.890	339	- 7.380	471	- 7.040	514	- 705	552	- 565	569	623	681	- 286		
		+ 40.300	320	+ 29.600	298	+ 19.800	282	+ 10.700	269	+ 4.500	252	+ 400	273	- 2.320	209	- 2.560	248	- 7.850	319	- 7.330	393	- 990	466	- 670	497	- 550	553	604	670	- 286		
			337	+ 30.700	320	+ 20.400	307	+ 12.000	297	+ 4.900	283	+ 2.400	234	- 370	215	- 2.030	233	- 7.780	302	- 1.260	375	- 950	449	- 655	482	- 510	536	592	657	- 286		
					353	+ 25.300	328	+ 17.800	318	+ 6.400	302	+ 2.440	295	+ 1.700	265	- 715	232	- 7.540	285	- 1.790	358	- 930	434	- 675	464	- 505	523	588	648	- 286		
							364	+ 14.900	339	+ 6.800	328	+ 2.900	374	+ 1.350	307	+ 700	250	- 7.090	273	- 1.730	343	- 870	477	- 595	450	- 485	508	565	640	- 286		
									368		333	+ 3.540	336	+ 1.900	322	- 7.200	250	- 30	275	- 960	328	- 870	404	- 572	436	- 455	492	557	632	- 286		
											339	+ 4.200	359	+ 2.380	340	- 7.020	303	+ 700	306	- 695	323	- 780	388	- 550	427	- 450	483	544	625	- 286		
											379		382		375	- 2.500	354	+ 640	350	- 730	330	- 690	379	- 515	409	- 442	471	536	618	- 286		
															396		384	+ 790	374	+ 150	367	- 470	409	- 465	400	- 425	461	526	612	- 286		
																			394	- 736	394	- 368	390	- 324	395	- 407	452	517	607	- 286		
																			426	- 230	421	- 748	409	- 203	405	- 340	443	511	603	- 286		
																					441	+ 40	428	- 108	422	- 276	444	504	598	- 286		
																							457	+ 60	443	- 205	450	507	595	- 286		

Hautleurs D.	400	400	407	401	393	383	370	346	316	279	246	215	183	145	135	117	102	93	97	116	132	147	167	188	206	233	255	282	321	374	441	473	515	529	530	519	508	499	478	446	442	391	365	335	294	262	228	191	158	121	95	74	67	75	91	122	151	178	212	248	281	319	360	408	468	543	567	597	615	642	657	630	632	606	585	559	531	505	467	422	378	333	302	274	257	239	225	217	224	236	252	264	279	299	320	337
Hautleurs H.	400	399	398	395	389	381	363	344	326	281	249	219	183	156	135	125	103	95	97	112	133	151	167	183	207	234	256	281	318	373	473	515	529	530	519	508	499	478	446	442	391	365	335	294	262	228	191	158	121	95	74	67	75	91	122	151	178	212	248	281	319	360	408	468	543	567	597	615	642	657	630	632	606	585	559	531	505	467	422	378	333	302	274	257	239	225	217	224	236	252	264	279	299	320	337	
Hautleurs D.	400	406	413	405	399	378	360	340	307	276	249	218	186	151	133	112	96	88	85	102	127	164	165	188	208	239	260	292	321	372	417	470	511	529	534	519	508	486	447	433	407	363	343	300	272	237	198	167	132	104	80	64	65	78	112	145	176	209	245	280	317	358	406	481	561	597	616	646	663	656	643	613	592	567	542	513	475	429	390	346	315	280	261	240	223	217	213	223	241	260	278	298	320	353		
Hautleurs H.	400	399	398	395	389	380	367	345	324	285	252	225	191	159	134	114	97	86	86	102	127	164	165	185	209	238	259	288	323	368	420	440	511	530	535	528	519	505	484	461	425	408	372	331	307	268	230	199	164	133	104	78	63	66	84	114	144	176	210	245	280	317	359	409	479	532	567	594	617	649	660	658	640	612	591	567	542	513	471	432	389	345	315	280	262	241	220	213	213	222	241	260	278	298	320	353
Hautleurs D.	400	406	413	405	399	378	360	340	307	276	249	218	186	151	133	112	96	88	85	102	127	164	165	188	208	239	260	292	321	372	417	470	511	529	534	519	508	486	447	433	407	363	343	300	272	237	198	167	132	104	80	64	65	78	112	145	176	209	245	280	317	358	406	481	561	597	616	646	663	656	643	613	592	567	542	513	475	429	390	346	315	280	261	240	223	217	213	223	241	260	278	298	320	353		
Hautleurs H.	400	399	398	395	389	380	367	345	324	285	252	225	191	159	134	114	97	86	86	102	127	164	165	185	209	238	259	288	323	368	420	440	511</																																																															



420	407	382	350	365	355	347	327	310	292	272	257	245	228	212	195	182	164	155	144	146	146	187	221	245	266	292	320	345	372	404	443	403	526	558	588	596	598	536	510	480	459	428	406	385	368	342	325	304	282	264	245	227	212	197	183	174	190	238	283	303	335	370	398	436	438	464	524	577	613	659	684	735	722	720	641	603	583	542	526	497	474	450	427	400	380	359	339	319	302	285	273	275	306	350	374	394	426
400	404	400	396	390	373	358	340	325	303	282	265	247	227	215	198	183	171	158	152	152	180	220	251	277	299	322	348	375	406	429	484	515	563	581	592	587	536	496	478	452	423	405	382	361	340	318	299	278	257	236	220	206	191	178	174	196	244	279	304	336	367	397	437	480	534	574	615	655	694	720	732	690	623	610	570	539	514	491	467	442	418	400	372	355	330												
																						0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	21	20	19	10	-7	-25	-21	-29	-17	-27	-19	-24	-18	-22	-18	-20	-17	-19	-16	-18	-15	-16	-13	-10	-2	6	0	1	4	7	7	11	14	19	23	28	26	29	24	7	-33																		

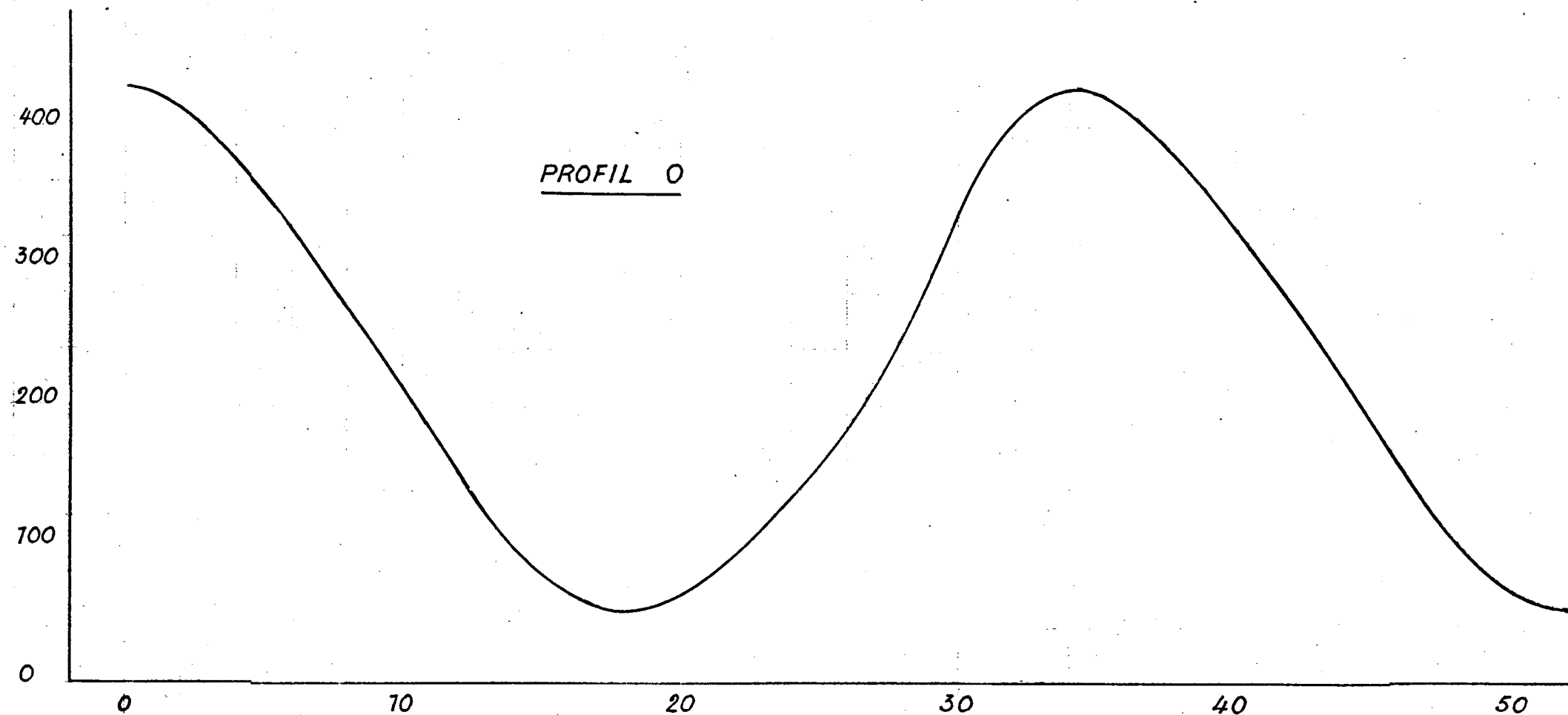


[illegible][illegible]

	0-1	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	5-6	6	6-7	7	7-8	8	8-9	9	9-10	10	10-11	11	11-12	12	12-13	13	13-14	14	14-15	15	15-16	16
11	185	- 61.000	209	- 43.500	243	- 26.700	257	- 18.200	291	- 8.350	300	- 6.150	350	- 2.500	334	- 3.150	414	- 890	458	+ 290	482	+ 800	436	+ 420	421	+ 350	374	+ 150	334	- 5	330	- 48
12	154	- 59.000	179	- 38.000	202	- 28.600	237	- 15.400	249	- 9.500 c.	282	- 5.700 c.	295	- 3.700 c.	349	- 2.800 c.	351	- 1500 c.	421	- 360	456	+ 450 c.	471	+ 520 c.	428	+ 315 c.	409	+ 180 c.	+ 17	346	- 48	
13	124	- 48.500	131	- 41.000	178	- 24.400	190	- 17.900	224	- 8.800	246 (c)	- 5.550	275 (c)	- 3.670	300	- 2.560	335 (c)	- 1370	365	- 1.200	421	- 110	463 c.	+ 380	458 c.	+ 344	420	+ 170	+ 109	+ 23	369	- 48
14	98	- 47.500	117	- 34.000	136	- 27.400	169	- 12.700	181	- 9.700	219	- 5.200	245	- 3.840	277	- 2.200	300	- 1850	359	- 670	364	- 620	419	- 10	462	+ 256	450	+ 226	+ 94	+ 28	394	- 48
15	78	- 43.800	97	- 32.600	118	- 20.400	127	- 16.000	166	- 7.450	180	- 5.800	223	- 3.200	237	- 2.650	289	- 1300	319	- 1.080	361	- 373	365	- 450	429	+ 35	455	+ 172	+ 122	+ 16	420	- 48
16	64	- 37.300	69	- 28.000	85	- 21.000	105	- 12.100	122	- 9.100	165	- 4.600	182	- 3.700	223	- 2.150	248	- 1740	311	- 710	323	- 400 (c)	372	- 450 (c)	368	- 320	432	+ 30	+ 86	+ 31	441	- 48
17	56	- 27.800	50	- 24.700	63	- 18.700	74	- 12.500	105	- 7.800 c.	130 (c)	- 5.000 c.	167	- 3.400 c.	190 (c)	- 2.460	235	- 1520 (c)	285 (c)	- 900 c.	320 (c)	- 530 (c)	348	- 350 (c)	370 (c)	- 250 (c)	390	- 150 (c)	- 20	- 80	467	- 48
18	52	- 20.000	44	- 19.600	46	- 15.700	51	- 11.700	79	- 6.950	104	- 4.950	140	- 3.200	165	- 2.270	206	- 1460	262	- 930	300	- 525	332	- 377	357	- 203	373	- 176	- 105	- 80	480	- 48
19	54	- 12.300	43	- 13.400	35	- 12.700	36	- 9.530	52	- 7.150	85	- 4.380	117	- 3.200	141	- 2.140	181	- 1430	242	- 876	278	- 578	320	- 318	335	- 246	367	- 142	- 150	- 119	470	- 48
20	63	- 7.870	45	- 7.650	33	- 8.060	24	- 8.300	38	- 5.930	58	- 4.300	91	- 2.900	113	- 2.140	158	- 1370	221	- 870	261	- 520	297	- 368	326	- 220	349	- 193	- 126	- 90	447	- 48
21	77	+ 9.650	57	+ 870	34	- 4.500	25	- 5.650	24	- 4.750	42	- 3.860	67	- 2.750	90	- 2.080	136	- 1370	202	- 820	241	- 553	285	- 330	307	- 260	345	- 162	- 129	- 82	433	- 48
22	94	+ 19.800	75	+ 10.600	49	+ 2.000	29	- 2.700	79	- 4.280	31	- 3.350	47	- 2.670	71	- 1.920	172	- 1300	181	- 830	225	- 514	266	- 364	298	- 224	328	- 175	- 110	- 81	422	- 48
23	113	+ 28.800	93	+ 16.400	73	+ 9.000	50	+ 7.330	29	- 2.300	21	- 2.920	35	- 2.360	51	- 1.820	91	- 1180	162	- 785	206	- 522	253	- 330	280	- 240	319	- 158	- 116	- 75	411	- 48
24	133	+ 33.500	117	+ 21.600	94	+ 12.800	78	+ 6.300	51	+ 620	27	- 1.950	25	- 1.960	36	- 1.620	69	- 1280	146	- 755	190	- 502	236	- 340	268	- 223	305	- 158	- 107	- 75	402	- 48
25	158	+ 38.000	140	+ 25.300	117	+ 15.800	100	+ 7.750	84	+ 4.150	52	- 60	26	- 1.500	27	- 1.500	57	- 1100	124	- 760	174	- 494	222	- 320	252	- 228	294	- 153	- 72	- 72	393	- 48
26	184	+ 43.300	163	+ 27.200	142	+ 17.200	128	+ 10.200	104	+ 4.200	94	+ 2.500	52	- 280	27	- 1.210	43	- 1070	109	- 695	156	- 485	207	- 316	239	- 216	281	- 153	- 102	- 70	385	- 48
27	212	+ 47.300	191	+ 29.400	168	+ 18.800	152	+ 10.400	135	+ 5.100	111	- 2.520	101	+ 7.770	53	- 520	39	- 930	92	- 685	143	- 456	192	- 308	225	- 217	270	- 145	- 101	- 68	377	- 48
28	249	+ 55.000	227	+ 32.400	195	+ 20.000	179	+ 10.800	162	+ 6.600	136	- 3.200	115	+ 7.470	774	+ 800	54	- 690	81	- 645	128	- 456	179	- 294	212	- 203	257	- 141	- 96	- 65	370	- 48
29	297	+ 63.000	258	+ 36.800	226	+ 21.700	208	+ 12.800	183	+ 6.500	167	- 3.720	144	+ 7.700	132	+ 7.180	109	+ 70	80	- 560	176	- 430	165	- 285	199	- 197	246	- 134	- 94	- 66	364	- 48
30	336	+ 71.500	299	+ 41.500	263	+ 26.000	236	+ 13.800	213	+ 7.100	192	- 3.570	177	+ 2.340	150	+ 7.020	144	+ 600	108	- 250	107	- 395	152	- 285	187	- 190	234	- 129	- 92	- 60	358	- 48
31	376	+ 76.000	343	+ 47.000	300	+ 28.800	273	+ 16.000	244	+ 7.850	222	- 4.180	197	+ 2.300	185	+ 7.440	158	+ 616	143	+ 100	118	- 307	140	- 260	174	- 185	223	- 127	- 89	- 63	352	- 48

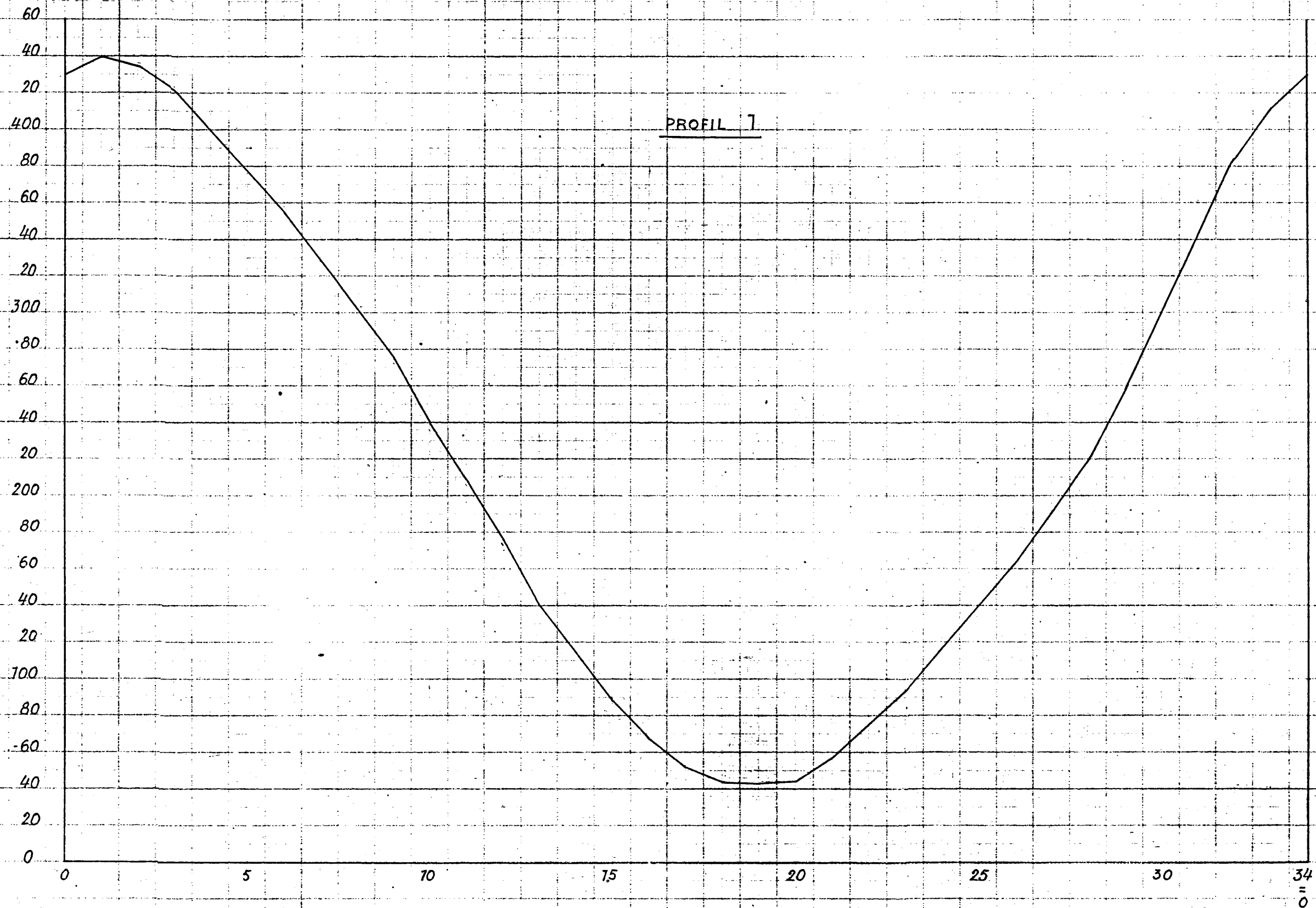
Marée moyenne
Courbe des hauteurs d'eau à Flessingue

*Echelles : abscisse $\frac{1}{2}$ cm = intervalle de temps $2T$
ordonnée 2,5 cm = 100 cm. de hauteur d'eau*

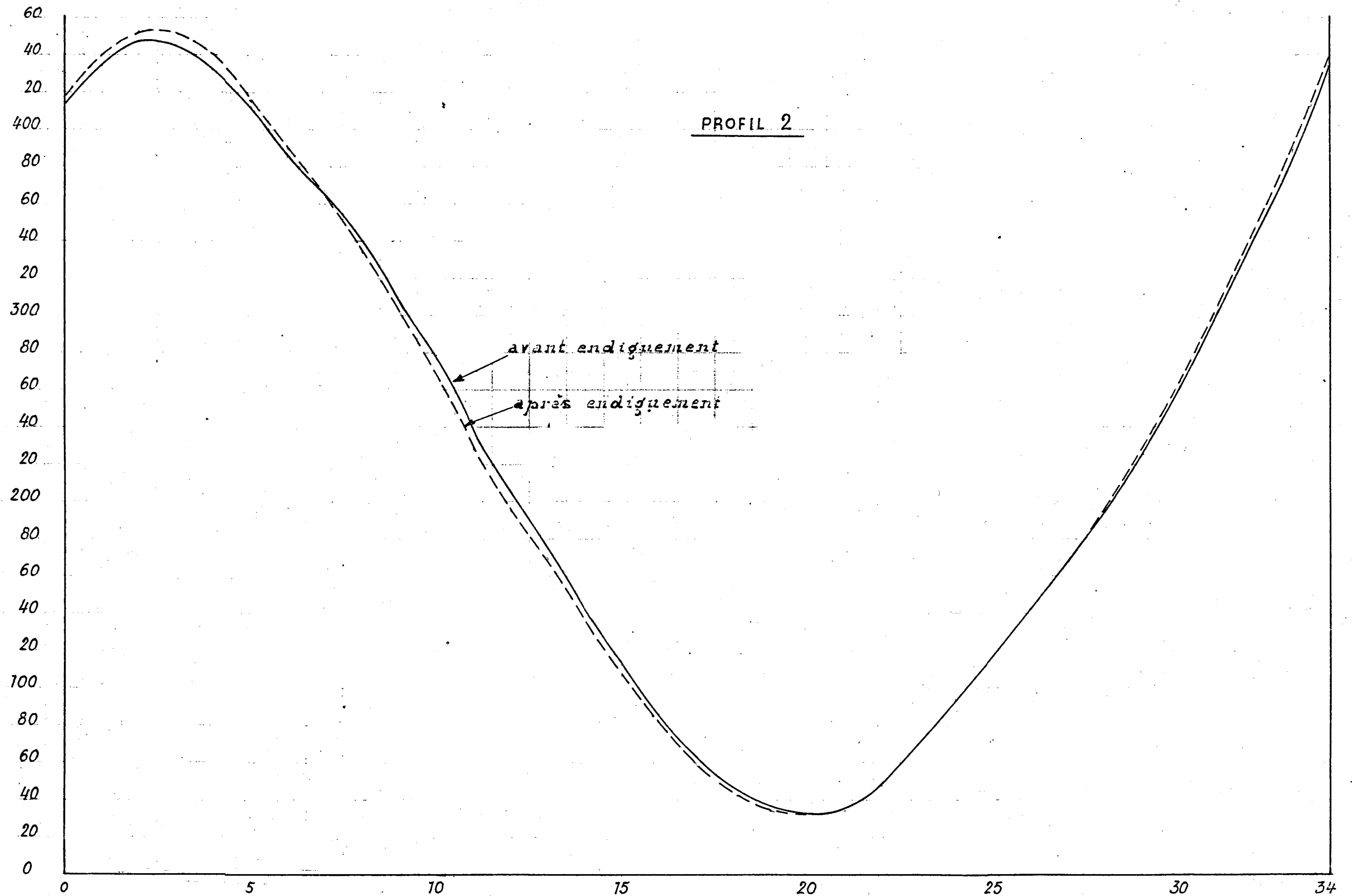


Hauteurs D.	430	439	434	421	399	375	355	328	302	276	241	209	177	137	115	89	68	51	44	43	45	57	75	93	117	140	163	191	221	258	299	343	385	412	429
Hauteurs H.	430	439	435	420	399	377	355	328	302	275	239	208	176	144	114	88	67	53	45	43	43	56	75	92	116	140	164	192	217	258	300	343	383	413	430
Hauteurs moy.	430	439	435	421	399	376	355	328	302	276	240	209	177	141	115	89	68	52	44	43	44	57	75	93	117	140	163	191	219	258	300	343	384	412	430

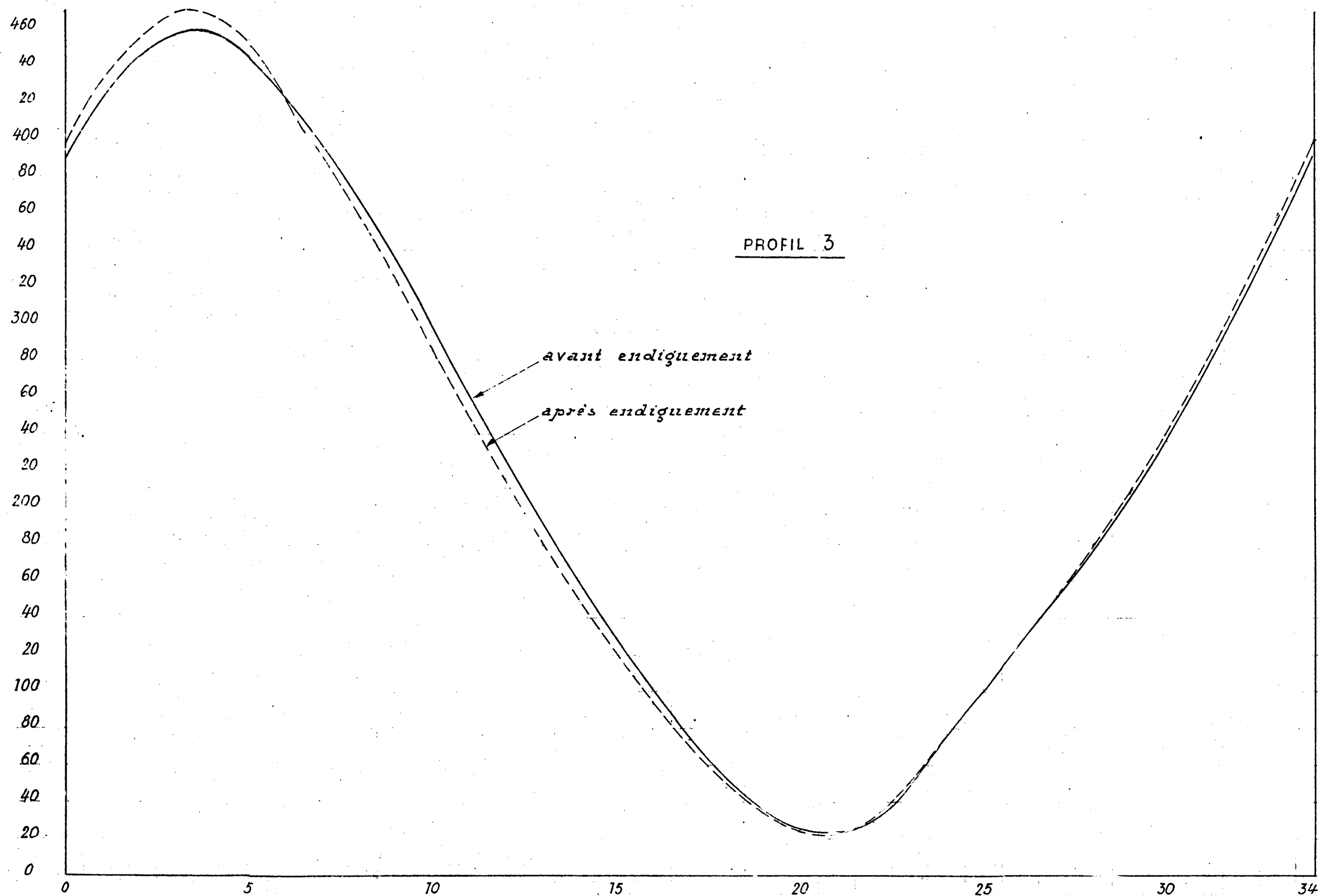
Les surhauteurs d'eau dues à l'endiguement de Saastinge sont très faibles.



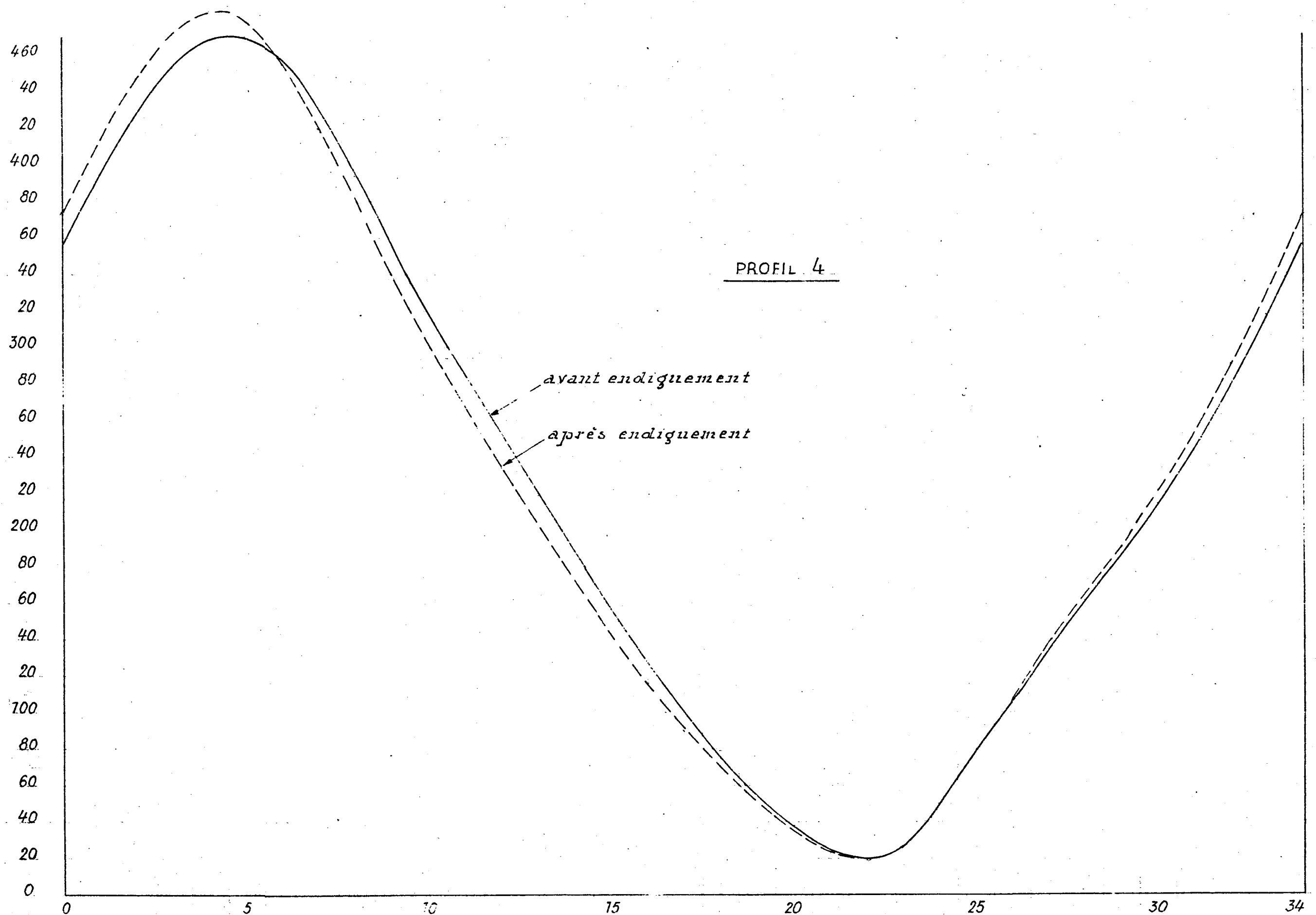
Hauteurs D.	414	434	448	445	432	412	385	365	342	307	280	240	204	175	140	115	85	63	46	35	33	34	49	73	94	117	142	168	195	226	263	300	342	383	414
Hauteurs H.	414	434	446	446	431	412	385	365	340	309	277	238	206	174	144	112	87	64	48	37	33	34	48	73	94	116	143	167	197	223	261	302	343	382	414
Hauteurs moy.	414	434	447	445	432	412	385	365	341	308	278	239	205	175	142	114	86	63	47	36	33	34	48	73	94	117	142	168	196	225	262	301	342	383	414
Surhauteurs H.	4	5	5	7	7	3	4	1	-5	-6	-8	-8	-9	-5	-6	-4	-3	-4	-2	-2	1	0	1	1					0	1	2	1	3	2	4



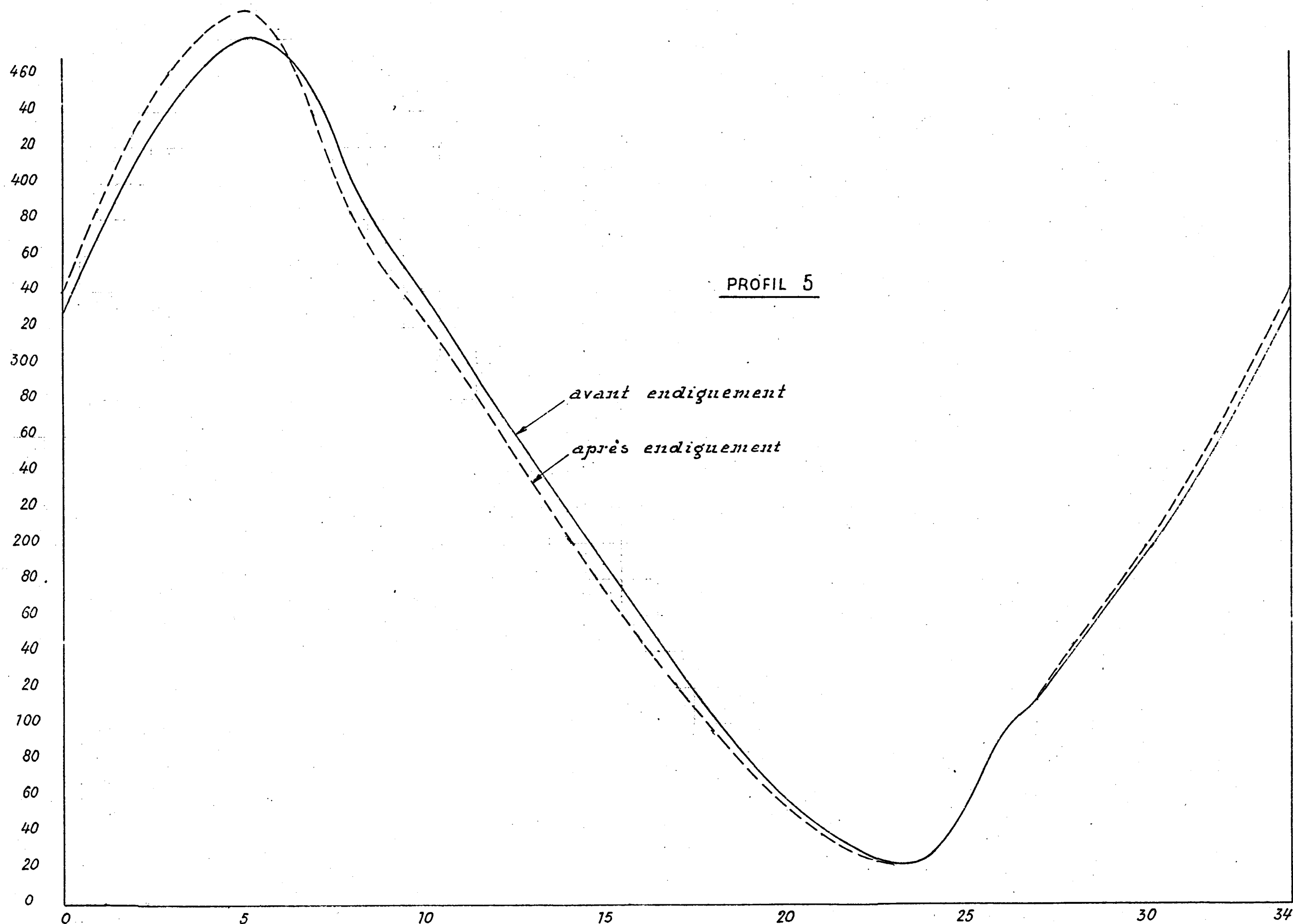
Hauteurs D.	391	423	445	459	459	446	423	398	365	338	296	260	228	192	164	126	102	74	51	36	24	24	29	50	78	100	128	152	179	208	236	273	311	352	392
Hauteurs H.	390	422	445	457	461	444	421	397	367	334	296	262	224	196	159	131	101	75	51	36	26	22	29	47	76	102	125	153	179	208	235	271	311	352	390
Hauteurs moy.	390	423	445	458	460	445	422	398	366	336	296	261	226	194	162	129	102	74	51	36	25	24	29	49	77	101	127	152	179	208	236	272	311	352	391
Surhauteurs H.	7	9	11	12	10	9	-1	-4	-7	-12	-12	-14	-9	-11	-8	-7	-7	-4	-4	-1	-2	1	1	1					2	2	2	4	3	7	7



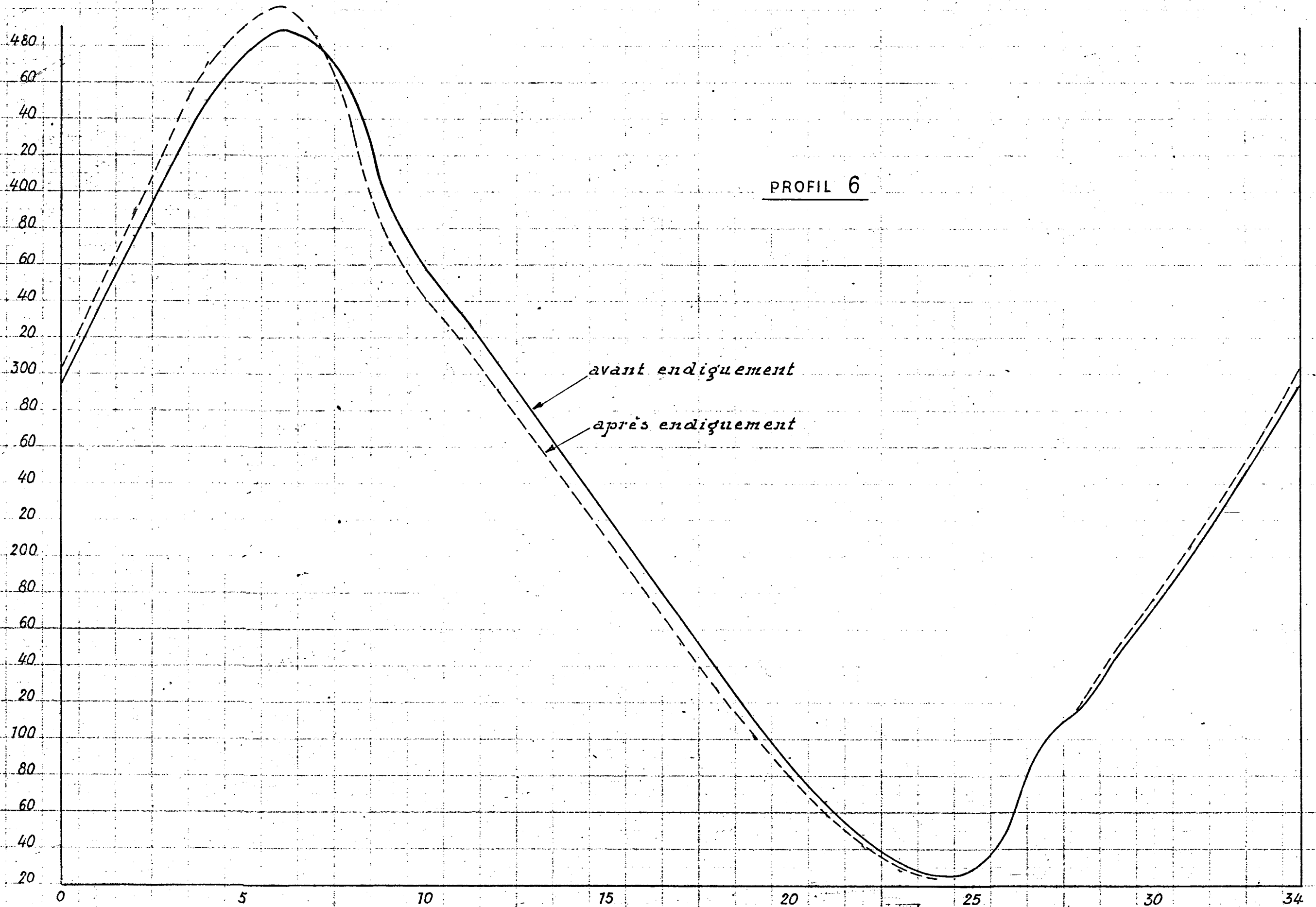
Hauteurs D.	357	395	428	453	468	469	460	425	395	356	318	287	252	221	186	162	127	103	79	52	38	24	19	29	51	84	104	135	162	183	213	244	279	317	356
Hauteurs H.	357	395	426	453	467	472	458	425	392	354	320	286	257	217	191	160	131	103	78	53	37	27	20	25	48	80	106	134	159	185	215	242	278	317	356
Hauteurs moy.	357	395	427	453	468	470	459	425	394	355	319	287	254	219	188	161	129	103	79	52	38	25	19	27	50	82	105	135	161	184	214	243	279	317	356
Surhauteurs H.	16	18	20	18	16	8	-2	-13	-14	-17	-16	-17	-18	-15	-14	-14	-10	-10	-4	-5	-3	-2	0	1		0	3	3	4	6	6	11	17	16	



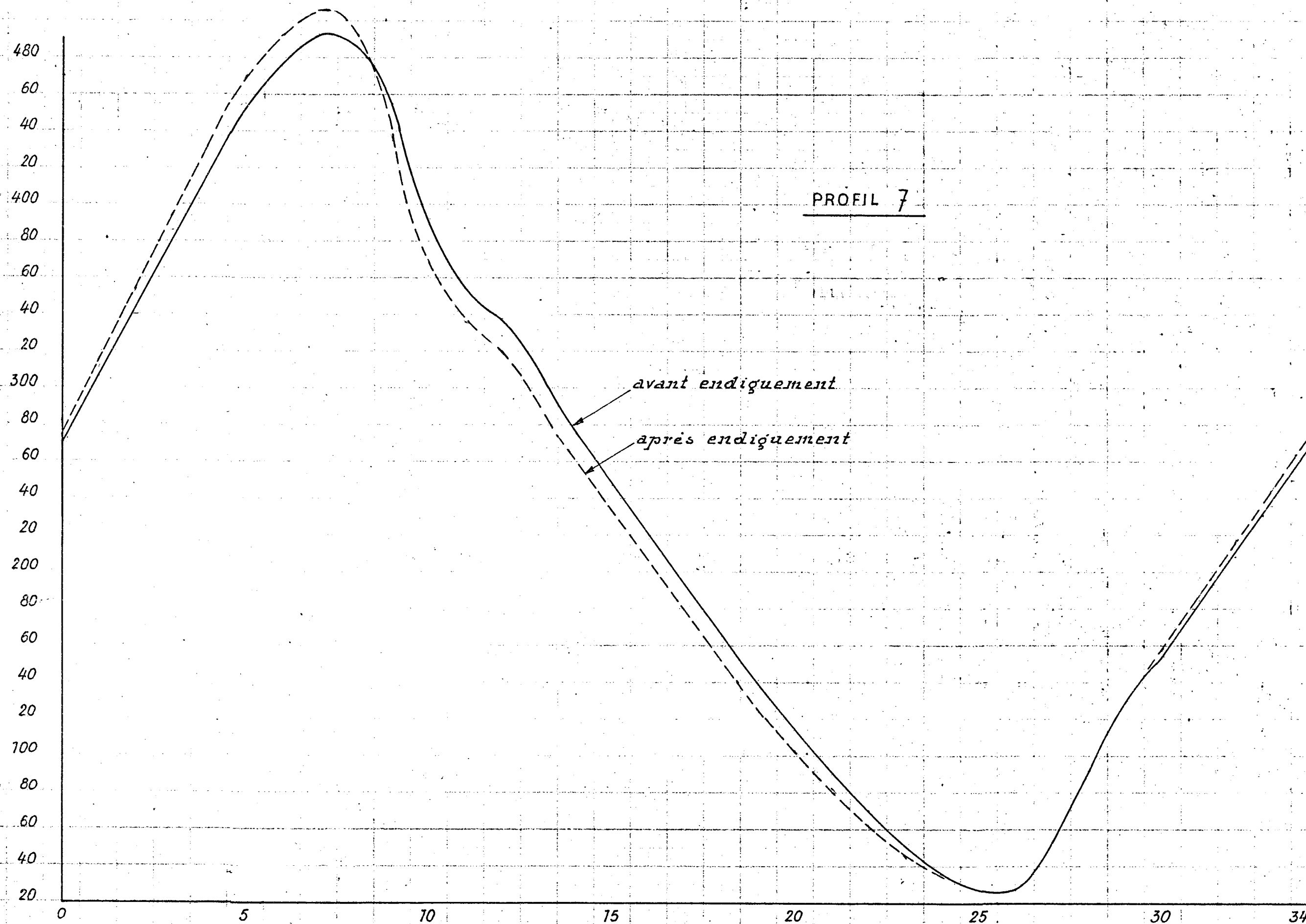
Hauteurs D.	329	368	409	442	465	482	476	456	401	364	342	304	278	247	217	186	161	132	104	85	58	42	31	21	27	52	94	111	136	167	192	222	252	288	328
Hauteurs H.	329	370	409	440	467	480	476	451	405	370	339	312	272	252	217	190	161	133	107	83	59	42	29	21	25	50	93	113	140	165	193	222	251	286	328
Hauteurs moy.	329	369	409	441	466	481	476	454	403	367	341	308	275	249	217	188	161	132	105	84	58	42	30	21	26	51	94	112	138	166	192	222	252	287	328
Sur hauteurs H.	11	15	18	20	18	16	5	-12	-20	-15	-16	-16	-15	-17	-16	-13	-15	-17	-10	-6	-6	-4	-3	-7				0	3	3	4	6	6	10	17



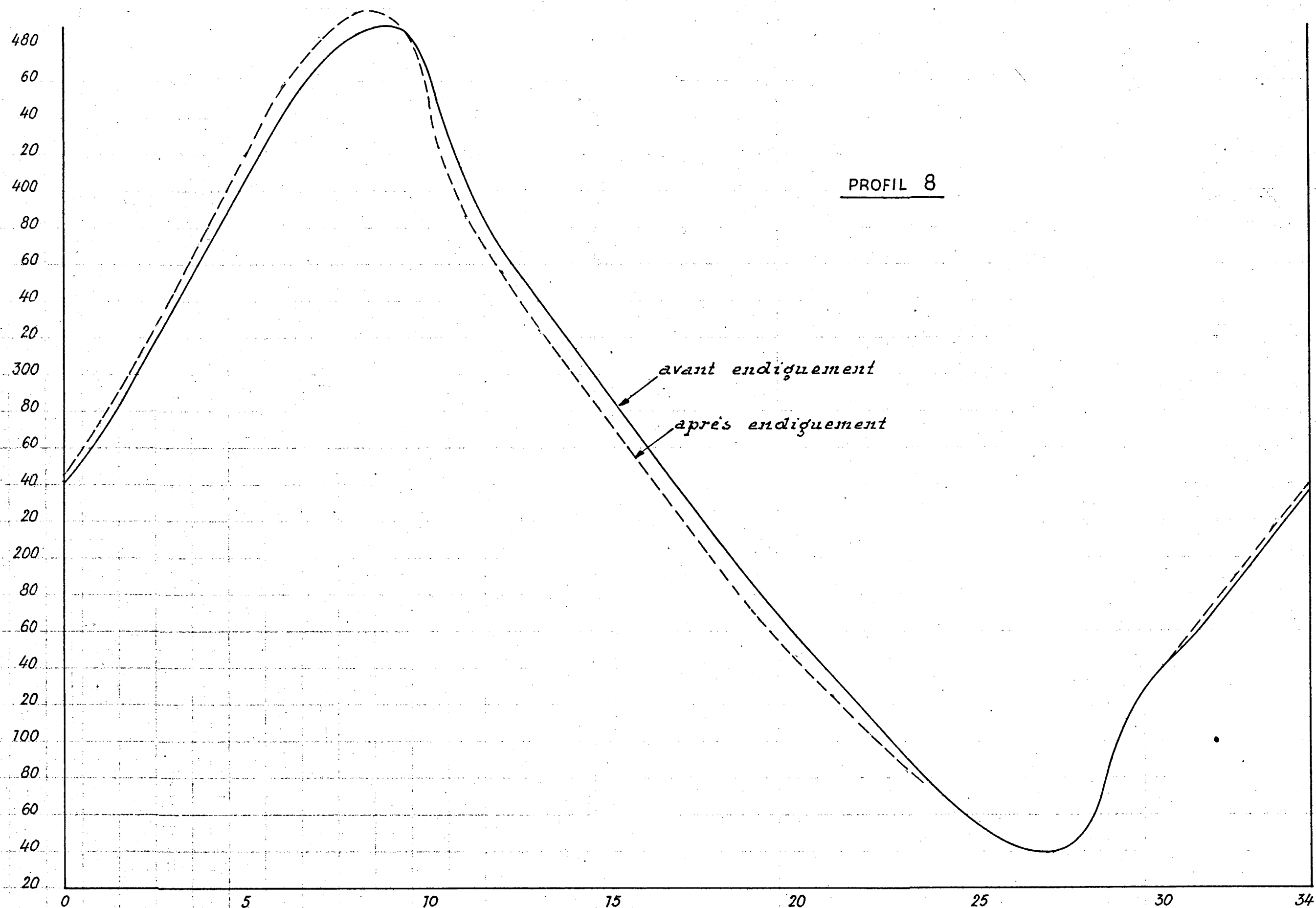
Hauteurs D.	295	335	375	412	449	473	491	480	457	395	351	338	301	275	249	219	188	164	140	117	91	67	47	35	25	26	52	101	115	144	177	197	227	260	292
Hauteurs H.	295	335	376	416	450	469	487	484	451	395	363	329	313	274	252	221	194	166	138	114	90	66	49	35	24	29	51	98	118	148	171	200	229	258	293
Hauteurs moy.	295	335	376	414	450	471	489	482	454	395	357	334	307	274	251	220	191	165	139	113	90	66	48	35	24	28	51	99	117	146	174	199	228	259	293
Surhauteurs H.	9	10	14	17	19	17	15	4	-16	-18	-16	-13	-15	-16	-15	-17	-14	-15	-17	-11	-7	-7	-6	-4				0	3	3	4	5	6	9	



Hauteurs D.	271	306	339	382	420	457	474	495	484	455	394	347	341	304	275	243	219	190	164	141	113	90	71	51	36	27	27	53	114	132	150	185	208	233	269
Hauteurs H.	269	306	341	390	415	454	476	491	488	454	383	360	335	315	276	250	217	193	167	140	115	92	69	52	37	27	27	53	110	127	158	182	209	239	266
Hauteurs moy.	270	306	340	386	417	455	475	493	486	455	389	353	338	310	275	247	218	191	165	141	114	91	70	51	36	27	27	53	112	130	154	184	208	236	268
Surhauteurs H.	5	9	10	13	16	18	16	15	6	-17	-21	-16	-15	-13	-17	-16	-16	-13	-15	-11	-11	-8	-8	-6						0	3	3	4	5	5



Hauteurs D.	240	267	300	333	371	408	444	463	486	491	464	408	362	337	307	286	252	233	206	181	158	136	112	91	69	57	43	39	54	109	144	158	185	212	232
Hauteurs H.	244	268	300	335	377	406	441	465	486	488	466	404	374	343	321	285	261	231	208	184	158	135	113	91	72	55	43	38	56	116	138	162	189	210	240
Hauteurs moy.	242	267	300	334	374	407	443	464	486	490	465	406	368	340	314	286	257	232	207	182	158	136	112	91	70	56	43	39	55	112	141	160	187	211	236
Surhauteurs H.	4	5	7	8	11	13	16	15	12	4	-13	-21	-10	-17	-15	-16	-13	-16	-12	-15	-11	-12	-9	-9							0	2	3	3	4



	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	0				0												
27				0	0	0	0										
28			0	-530	310	0	0										
29		0	-600	-420	140	165	0										
30	0	0	-350	-660	170	80	100	0									
31	0	0	-880	-400	293	96	60	3	66	0							
32	0	1	-440	-1120	126	161	73	3	54	2	34	0					
33	0	1	-910	-620	690	137	79	4	50	3	40	1	0				
0	0	1	-830	-1850	410	296	81	5	68	2	21	1	0	0			
1	0	1	-1580	-2000	844	254	197	5	52	2	6	2	11	0			
2	0	1	-1700	-2520	820	474	145	9	114	3	36	1	16	7	0		
3	0	2	-2520	-2480	820	474	145	10	114	3	28	2	0	12	3	0	
4	0	2	-2860	-2840	804	403	226	14	115	7	37	3	8	1	2	0	
5	0	2	-4230	-4450	-46	383	270	17	157	8	70	5	18	2	7	1	0
6	0	2	-5420	-6650	-377	130	257	19	171	17	52	6	29	3	10	2	0
7	0	3	-6450	-5600	-2345	102	185	17	185	13	85	8	30	2	17	3	0
8	0	2	-5900	-4800	-4000	20	178	16	178	16	92	10	43	3	17	2	0
9	0	0	-3800	-3280	-3370	-12	74	15	78	12	55	8	62	4	13	2	0
10	0	-1	-260	350	1970	-14	-1460	6	33	12	78	13	62	6	9	4	0
11	0	-3	925	1990	+1950	-17	-1040	-17	-300	4	14	11	43	8	13	4	0
12	0	-3	2075	2190	1610	-480	-490	-16	-700	-13	-557	-10	-76	8	17	7	0
13	0	-3	2510	2530	1170	-330	-420	-15	-280	-15	-720	-25	-243	5	11	11	0
14	0	-3	2830	3000	1450	-490	-190	-15	-140	-15	-235	-10	0	5	10	10	0
15	0	-3	2980	1960	2420	50	-133	-17	-175	-13	7	-17	-76	-4	-300	-100	0
16	0	-1	2140	2360	1750	1470	217	-16	-103	-15	0	-17	-42	-22	-231	-49	0
17	0	-1	1720	1930	1670	1540	-31	-13	-102	-16	-35	-10	-102	0	96	-203	0
18	0	-1	1575	1490	1890	890	450	-15	-67	-13	8	-16	-67	-19	-84	60	0
19	0	-1	1550	1610	1020	1720	32	-11	43	-16	51	-13	-88	-5	50	-63	0
20	0	0	1240	730	1738	384	302	-7	146	-11	15	-11	-55	-15	-46	40	0
21	0	1	1020	690	610	264	173	-7	93	-8	75	-12	-22	-13	43	-42	0
22	0	0	540	540	523	360	194	-6	100	-8	32	-9	48	-10	28	-35	0
23	0	0	420	60	460	470	370	-1	104	-4	57	-9	0	-10	-23	25	0

0		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	ANNEXE 26	
9	0	-4	-70	-16	-26	-22	-24	-34	-6	+77	+20	+77	+73	+77	+9	+3	0	
10	0	+2.300 ⁶⁴⁰	+2.440 ⁴⁵⁰	+2.550 ³⁸⁰	+3.060 ³²⁰	+74	-1.500 ²⁰⁸	-1.300 ⁴⁶	-1.900 ¹²	-970 ³⁸	-185 ²⁷	+66 ¹¹	+60 ^{8,5}	+35 ^{7,3}	+28 ^{5,6}	+72 ^{4,8}	0	
11	0	53 + 7.200 ⁵²⁰	46 + 7.100 ³³⁵	54 + 7.400 ³⁰⁵	35 + 7.700 ¹⁹⁶	45 - 670 ¹⁹³	55 - 630 ⁶⁹	63 - 820 ⁵⁰	86 - 700 ⁴⁶	66 - 730 ²⁶	47 + 30 ^{13,2}	50 + 30 ^{11,4}	55 + 20 ⁷	100 + 28 ^{6,6}	74 + 2 ^{2,7}	14 + 2 ^{2,7}	0	
12	0	52 + 7.700 ⁵⁰⁰	43 + 7.500 ³²⁰	52 + 7.800 ²⁹⁷	32 + 900 ¹⁸⁶	42 - 530 ¹³⁵	45 - 300 ⁶³	55 - 500 ⁴⁷	40 - 700 ³⁴	100 - 600 ²⁹	65 - 70 ^{12,5}	63 + 35 ^{7,4}	55 + 26 ^{7,4}	85 + 30 ^{6,5}	30 + 5 ^{3,2}	5 + 7 ^{3,2}	0	
13	0	51 + 7.900 ⁴⁸⁵	41 + 7.500 ³⁰⁵	50 + 7.800 ²⁹⁰	30 + 800 ¹⁷⁶	39 - 200 ¹²⁷	38 - 200 ⁵⁷	50 - 300 ⁴³	19 - 60 ²⁶	30 - 300 ²⁷	67 - 230 ¹⁴	83 - 170 ^{74,3}	62 + 25 ⁸	82 + 32 ^{6,8}	45 + 8 ^{3,9}	7 + 7 ^{3,9}	0	
14	0	50 + 7.900 ⁴⁷⁰	40 + 7.400 ²⁹⁵	48 + 7.400 ²⁷⁵	28 + 760 ¹⁶⁷	37 - 70 ¹²⁰	34 - 750 ⁵³	48 - 740 ⁴²	74 - 25 ²⁴	20 + 40 ¹⁶	26 - 120 ¹¹	50 - 180 ^{12,5}	70 - 80 ⁸	95 + 24 ^{6,9}	47 + 9 ^{4,5}	43 + 4 ^{3,7}	0	
15	0	50 + 7.900 ⁴⁶⁰	40 + 7.300 ²⁸⁵	47 + 7.200 ²⁶⁰	27 + 700 ¹⁵⁸	35 - 30 ¹¹⁴	32 - 80 ⁵¹	47 - 65 ⁴⁰	10 - 10 ²²	74 + 3 ¹⁴	16 + 2 ⁹	36 - 70 ^{9,8}	30 - 80 ⁶	39 - 50 ^{5,3}	43 + 4 ^{3,7}	43 - 90 ^{5,4}	0	
16	0	52 + 7.700 ⁴⁵⁰	40 + 7.200 ²⁷⁵	47 + 7.200 ²⁵⁰	25 + 520 ¹⁴⁹	32 + 30 ¹⁰⁶	30 - 24 ⁴⁸	46 - 30 ³⁹	08 - 3 ²¹	10 - 6 ¹³	12 - 4 ^{8,6}	30 + 2 ^{9,7}	20 - 11 ^{5,5}	48 - 80 ^{4,4}	25 - 27 ^{3,7}	25 - 65 ^{3,7}	0	
17	0	56 + 7.700 ⁴⁵⁰	40 + 7.000 ²⁶⁵	48 + 7.200 ²⁴⁰	23 + 400 ¹⁴¹	29 + 70 ⁹⁹	29 - 7 ⁴⁶	45 - 15 ³⁸	05 0 ¹⁹	06 0 ¹²	08 0 ^{7,6}	28 - 10 ^{8,7}	14 - 2 ⁵	70 - 7 ⁴	06 - 5 ^{3,3}	06 - 5 ^{3,3}	0	
18	0	64 + 7.700 ⁴⁶⁵	42 + 7.700 ²⁶⁵	50 + 7.080 ²³⁵	22 + 420 ¹³⁴	27 - 10 ⁹⁴	27 + 22 ⁴⁴	44 - 7 ³⁶	02 0 ¹⁸	03 0 ¹²	06 0 ^{7,6}	27 - 3 ^{8,5}	11 - 4 ⁵	07 + 7 ^{3,7}	-2 2,8 ^{2,8}	07 0 ^{2,8}	0	
19	0	85 + 2.500 ⁵³⁰	57 + 7.300 ²⁸⁵	57 + 7.700 ²⁴⁰	22 + 340 ¹²⁵	27 + 70 ⁸⁶	25 + 20 ^{40,5}	42 + 22 ³³	-03 0 ¹⁶	00 0 ¹¹	02 0 ^{6,9}	26 - 6 ⁸	08 0 ^{4,3}	06 0 ^{3,5}	-04 0 ^{2,6}	-04 0 ^{2,6}	0	
20	0	100 + 3.000 ⁵⁹⁰	70 + 7.700 ³⁰⁵	64 + 7.340 ²⁴⁵	23 + 250 ¹²³	27 + 770 ⁸²	23 + 32 ³⁸	40 + 9 ³²	-04 0 ¹⁵	-01 0 ¹⁰	01 0 ^{6,6}	24 - 3 ^{7,8}	07 0 ^{4,7}	06 0 ^{3,4}	-05 0 ^{2,5}	-05 0 ^{2,5}	0	
21	0	81 + 2.400 ⁵⁵⁵	94 + 2.700 ³⁶⁰	78 + 7.440 ²⁷⁰	29 + 320 ¹⁴⁰	27 + 720 ⁷⁹	22 + 33 ³⁶	39 + 27 ³⁷	-07 0 ¹⁴	-04 0 ^{9,4}	00 0 ^{6,5}	25 - 3 ^{7,6}	06 0 ⁴	05 0 ^{3,3}	-07 0 ^{2,4}	-07 0 ^{2,4}	0	
22	0	72 + 7.700 ⁵³⁷	72 + 2.100 ³³³	89 + 2.000 ²⁹⁴	57 + 750 ¹⁵⁷	28 + 720 ⁷⁷	23 + 42 ³⁶	40 + 35 ⁴⁰	-10 + 7 ¹⁴	-07 + 7 ^{8,8}	-01 0 ^{6,4}	26 - 3 ^{7,4}	05 0 ^{3,8}	03 0 ^{3,7}	-08 0 ^{2,3}	-08 0 ^{2,3}	0	
23	0	66 + 7.700 ⁵³⁰	61 + 7.700 ³²⁵	72 + 7.900 ²⁸⁰	93 + 7.400 ²⁰⁰	40 + 230 ⁸⁶	26 + 58 ³⁶	41 + 40 ²⁹	-11 0 ¹³	-09 0 ^{8,4}	-02 0 ^{6,2}	25 0 ^{7,1}	04 0 ^{3,7}	02 0 ³	-1 2,3 ^{2,3}	-1 2,3 ^{2,3}	0	
24	0	63 + 700 ⁵³⁷	54 + 440 ³¹⁵	64 + 760 ²⁷⁰	56 + 900 ¹⁷²	75 + 750 ¹¹²	32 + 90 ³⁸	43 + 43 ²⁹	-12 - 2 ¹²	-10 + 7 ^{8,1}	-04 0 ⁶	24 - 2 ^{6,8}	04 0 ^{3,6}	02 0 ^{2,9}	-09 0 ^{2,2}	-09 0 ^{2,2}	0	
25	0	61 + 430 ⁵⁴⁵	51 + 550 ³²⁰	60 - 30 ²⁷⁵	47 - 50 ¹⁷¹	63 + 7.050 ¹¹²	65 + 350 ⁵¹	51 + 85 ³⁰	-17 - 14 ¹¹	-10 0 ^{7,8}	-05 0 ⁶	23 0 ^{6,6}	03 0 ^{3,5}	00 0 ^{2,8}	-10 0 ^{2,7}	-10 0 ^{2,7}	0	
26	0	59 + 250 ⁵⁵⁰	49 + 270 ³²⁹	57 - 170 ²⁸⁴	42 - 230 ¹⁷¹	50 + 375 ¹⁰⁸	71 + 630 ⁵⁴	61 + 250 ³²	-15 - 15 ^{10,6}	-11 0 ^{7,5}	-05 0 ^{5,7}	22 - 7 ^{6,4}	02 0 ^{3,4}	-03 0 ^{2,7}	-11 0 ²	-11 0 ²	0	
27	0	58 + 740 ⁵⁶⁰	49 - 190 ³⁴⁰	54 - 90 ²⁸⁷	41 - 230 ¹⁷⁷	49 + 75 ¹¹⁴	56 + 360 ⁵²	100 + 430 ⁹²	-9 - 72 ^{10,9}	-73 - 7 ^{7,2}	-19 - 0 ^{5,5}	21 - 7 ^{6,2}	01 0 ^{3,3}	-04 0 ^{2,6}	-76 - 73 ²	-76 - 73 ²	0	
28	0	56 - 230 ⁵⁷⁷	49 - 260 ³⁵²	53 - 270 ²⁹⁰	41 - 380 ¹⁸³	49 + 240 ¹²⁰	48 + 750 ⁵¹	70 + 300 ³⁸	-1 0 ^{11,2}	-13 0 ^{5,9}	-18 - 0 ^{5,3}	20 0 ^{6,1}	00 0 ^{3,2}	-04 0 ^{2,6}	-76 - 73 ^c	-76 - 73 ^c	0	
29	0	52 - 400 ⁵⁹⁰	47 - 300 ³⁶⁰	54 - 420 ³⁰⁴	47 - 520 ¹⁹⁰	49 + 360 ¹²⁶	45 + 720 ⁵²	66 + 200 ³⁹	+2 23 ¹⁵	-71 - 7 ^{6,9}	-16 - 0 ^{5,1}	19 0 ^{5,9}	-18 - 0 ^{3,7}	-05 0 ^{2,5}	-76 - 75 ²	-76 - 75 ²	0	

Maree-tempeete
Influence de l'endiguement sur la maree-tempeete
Calcul par la methode des variations

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
29	0	+7	+2	+5	+10	+8	+3	+3	+2	-17	-16	-18	-18	-17	-16	-15
30	0	-990 720	-660 455	-1.320 375	-1.470 265	+670 138	+370 66	+200 47,5	+220 33	+40 76,5	+70 70	0 8	-3 6,8	-3 5,4	-2 4,9	0
31	0	49 - 500	44 - 290	55 - 720	41 - 600	48 + 290	44 + 160	63 + 730	61 + 140	-4 -0,5	0	-17 18	-18 -0,2	-17 -0,7	-16 -1,6	-15
32	0	605 - 600	366 - 730	378 - 960	197 - 1.200	132 + 260	54 + 230	40 + 120	25 + 30	+6 7,3	+73	+6 6	0 3	0 2,4	0 1,8	0
33	0	-7.700 740	-1.020 460	-1.680 385	-1.800 280	+550 150	+390 68	+250 42	(c) +270 34	+73 76,5	+15 70	+6 8	-3 6,8	-3 5,4	-2 4,9	0
34	0	51 - 600	41 - 400	51 - 850	37 - 660	46 + 250	41 + 160	61 + 150	58 + 160	+2 18	+70	-17 17	-18 -0,3	-17 -0,8	-16 -1,7	-15
0	0	635 - 640	385 - 1.150	0 324 - 950	205 - 1.800	-11 136 + 680	55 + 170	42 + 200	26 + 30	+7 9,2	+170	+2 5,5	+2 2,9	0 2,3	0 1,8	0
1	0	-7.240 740	-1.550 465	-1.800 395	-2.460 305	+930 166	+330 70	+350 43	+190 35	+120 17	+29 70	+11 7,8	-3 6,8	-2 5,3	-2 4,9	0
2	0	59 - 730	44 - 680	47 - 850	32 - 800	43 + 400	38 + 730	59 + 220	54 + 100	+3 79	+80	+2 5,4	-5 -11	-7 -10	-6 -1,7	-5
3	0	675 - 680	403 - 1.200	334 - 1.670	212 - 3.000	-16 140 + 1.100	56,5 + 400	43 + 90	26 + 50	-7 15,7	+120	+3 5,4	-16 -0,5	-17 -1,0	-16 -1,8	-15
4	0	-7.470 745	-1.880 470	-2.520 405	-3.800 330	+7.500 186	+530 71	+310 44	+150 36	(c) +170 30	+44 70	+73 7,8	+3 2,7	-2 5,3	-2 4,8	0
5	0	62 - 870	50 - 940	49 - 1.200	30 - 1.700	36 + 540	38 + 200	57 + 180	51 + 70	+2 82	+730	+2 5,5	-11 -0,6	-16 -1,1	-16 -1,9	-15
6	0	700 - 700	428 - 1.700	234 - 2.500	6 224 - 5.200	-25 143 + 2.150	59 + 530	44 + 100	27 + 70	0 16,5	+17	+8 5,5	+3 2,7	0 2,2	0 1,7	0
7	0	-7.570 750	-2.640 470	-3.700 410	-6.300 360	+33 +2.690 210	+730 72,5	+280 44	+180 37	(c) +170 77,5	+24 7,8	+22 7,8	-12 -0,7	-16 -1,2	-16 -1,9	-15
8	0	65 - 1.000	55 - 1.400	54 - 2.000	32 - 2.000	34 + 900	39 + 280	55 + 160	48 + 90	+2 57	+70	+36 24	-4 -0,4	-15 -1,3	-16 -1,9	-15
9	0	720 - 7.440	453 - 2.240	373 - 4.100	236 - 5.900	-28 746 + 2.200	9 62 + 700	46 + 270	28 + 110	+2 15,3	+75	+7,8 24	+8 2,6	+7 2,1	0 1,6	0
10	0	-2.440 750	-3.640 470	-6.100 410	-7.900 390	+26 +3.700 232	+980 74	+430 45	+200 38	+85 78	+72 70	+56 7,8	+10 6,7	0 5,3	-2 4,8	0
11	0	68 - 1.700	58 - 2.700	57 - 3.500	37 - 2.900	37 + 1.200	38 + 370	53 + 230	45 + 90	+4 46	+40	+65 38	-1 38	-15 -1,3	-16 -1,9	-15
12	0	745 - 2.200	468 - 4.200	2390 - 3.900	256 - 5.400	-25 162 + 650	65 + 850	48 + 380	28 + 200	+2 15,1	+30	+6,7 21	+1 2,8	+4 2,0	+7 1,6	0
13	0	-3.900 750	-6.300 470	-7.400 413	-8.300 400	+23 +1.850 252	+1.220 75,5	+670 45	+290 39	+70 78	+77 70	+42 7,8	+3 2,7	+2 2,3	-2 4,8	0
14	0	74 - 2.900	61 - 3.800	61 - 4.500	42 - 3.500	41 + 760	38 + 460	52 + 320	42 + 120	+6 37	+30	+2 60	-3 11	-17 -1,2	-15 -2,0	-15
15	0	775 - 5.400	-1 482 - 3.400	407 - 4.700	-2 277 - 4.700	-20 168 0	-7 69 + 480	29 + 290	8 29 + 450	+3 15	+60	+8,1 25	+4 3,3	+3 2,1	+2 1,6	+7
16	0	-8.300 750	-7.200 470	-8.600 415	-7.600 405	+19 +760 264	+760 77	+770 46	+410 40	+90 78,5	+67 70	+65 7,7	+4 3,3	+3 2,1	0 4,8	0
17	0	84 - 7.000	67 - 4.800	65 - 5.600	46 - 3.500	45 + 340	41 + 380	53 + 470	40 + 160	+9 30	+27	+90 23	+2 70	+7 33	+10 2,6	-14
18	0	810 - 4.800	-2 470 - 5.200	-5 422 - 2.100	1 295 - 4.700	-21 178 0	-7 74 + 300	1 54 + 160	7 30 + 400	+4 15,1	+90	+10,3 21	+2 4	+5 2,1	+7 1,6	0
19	0	-77.800 750	-10.000 470	-7.700 415	-8.200 405	+18 +340 270	+680 78	+570 47	+560 41	+177 19	+73 70,5	+69 8	+3 5,5	+5 2,2	+3	0
20	0	77 - 7.700	70 - 5.400	51 - 4.200	42 - 3.500	49 + 770	45 + 300	54 + 370	40 + 220	+13 23	+27	+75 21	+3 70	+5 2,2	+20	0
21	0	458 - 3.700	-3 438 - 4.800	-5 374 - 3.800	-20 790 - 380	-3 79 + 160	0 58 + 170	1 32 + 220	7 26 + 370	+6 15,5	+120	+4 10,1	+2 5	+5 2,2	+20	0
22	0	-77.400 470	-10.200 475	-8.000 405	-210 272	+73 -210 272	+460 79	+480 48	+440 42	+147 79,5	+76 10,5	+52 8,1	+3 5,5	+5 2,2	+20	0
23	0	83 - 8.500	63 - 5.000	54 - 170	54 - 170	54 - 170	49 + 230	55 + 260	47 + 180	+19 19	+30	+9 55	+3 82	+2	0	0
24	0	465 - 4.200	-10 345 - 3.400	-17 204 - 1.200	-7 204 - 1.200	-7 204 - 1.200	-5 84 - 90	-3 60 + 720	0 33 + 200	+2 16,2	+762	+5 11	+4 9,7	+3 6,5	+52	0
25	0	-12.700 475	-8.400 405	-8.400 405	0	0	0	0	0	+27 73	+44 37	+79 20	+9 55	+3 82	+2	0
26	0	82 - 7.000	63 - 820	63 - 820	53 + 75	53 + 75	53 + 75	57 + 220	43 + 163	+21 19	+36	+14 42	+9 44	+3 11	+21	0
27	0	377 - 1.700	-8 216 - 3.900	-16 89 - 270	-16 89 - 270	-16 89 - 270	-8 216 - 3.900	-5 63 - 60	-3 35 + 740	+3 17,2	+120	+3 11	+7 9,5	+1	+57	0
28	0	-8.100 405	-4.720 274	-4.720 274	-200 81	-200 81	-200 81	+160 48,5	+303 44	+24 20	+56 38,5	+156 21	+97 17	+78	0	0
29	0	100 - 4.700	62 - 120	62 - 120	60 + 100	60 + 100	60 + 100	+75 45	+175 44,5	+29 20	+56 37	+140 21,5	+30 17	+110	0	0
30	0	260 - 4.700	-29 96 - 1.340	-17 63 - 190	-6 37 + 35	-6 37 + 35	-6 37 + 35	+75 45	+276 39,5	+28 25	+54 37	+170 40,5	+70 44	0	0	0
31	0	-9.400 274	-1.460 81	-1.460 81	-90 49	-90 49	-90 49	+75 45	+276 39,5	+28 25	+54 37	+170 40,5	+70 44	0	0	0
32	0	79 - 1.200	64 - 60	64 - 60	64 - 60	64 - 60	64 - 60	+75 45	+276 39,5	+28 25	+54 37	+170 40,5	+70 44	0	0	0
33	0	104 - 2.500	-22 63 - 850	-17 38 - 160	-5 37 + 170	-5 37 + 170	-5 37 + 170	+75 45	+276 39,5	+28 25	+54 37	+170 40,5	+70 44	0	0	0
34	0	-700 87	-970 49	-970 49	-75 45	-75 45	-75 45	+75 45	+276 39,5	+28 25	+54 37	+170 40,5	+70 44	0	0	0
35	0	78 - 710	41 - 650	41 - 650	31 + 42	31 + 42	31 + 42	+75 45	+276 39,5	+28 25	+54 37	+170 40,5	+70 44	0	0	0
36	0	-1.200	-24 41 - 650	-24 41 - 650	-75 45	-75 45	-75 45	+75 45	+276 39,5	+28 25	+54 37	+170 40,5	+70 44	0	0	0
37	0	-1.970 49	-690 43,5	-690 43,5	-70 40	-70 40	-70 40	+75 45	+276 39,5	+28 25	+54 37	+170 40,5	+70 44	0	0	0
38	0	72 - 500	44 - 700	44 - 700	44 - 700	44 - 700	44 - 700	+75 45	+276 39,5	+28 25	+54 37	+170 40,5	+70 44	0	0	0
39	0	-7.600	-7.600	-7.600	-7.600	-7.600	-7.600	+75 45	+276 39,5	+28 25	+54 37	+170 40,5	+70 44	0	0	0

Influence de l'endiguement sur la marée-tempête
Calcul par la méthode des variations

Profils	Entre distances	Cum. Km	Ω cm ² MOD.	B ₀ c.m. MOD.	H ₀ c.m. MOD.	B ₀ m.	H ₀ m.	B ₁ m.	B ₂ m.	B ₃ m.	B ₄ m.	B ₅ m.	B ₆ m.	B ₇ m.	B ₈ m.	H ₁ m.	H ₂ m.	H ₃ m.	H ₄ m.	H ₅ m.	H ₆ m.	H ₇ m.	H ₈ m.	Observations
B.E. 1	1.700	0,0	8.228	386	21,3	4.640	14,90	4.680	4.750	4.820	4.860	4.910	4.940	4.970	5.020	15,70	16,60	17,30	18,10	18,90	19,90	20,70	21,60	Les valeurs de B ₀ à B ₈ sont celles des profils du modèle x 1250 x 0,96
B.E. 2		1,1	7.479	338	22,1	4.060	15,40	4.210	4.260	4.310	4.370	4.430	4.460	4.530	4.600	15,70	16,50	17,30	18,10	18,90	19,60	20,40	21,10	
B.E. 3		2,2	8.602	397	22,0	4.700	15,40	4.750	4.780	4.860	4.920	4.990	5.070	5.150	5.210	16,20	17,10	17,90	18,60	19,30	20,00	20,70	21,40	
Wissinger B.E. 5		3,3	7.732	479	18,9	5.040	13,20	5.200	5.370	5.420	5.630	5.680	5.840	5.900	5.950	13,50	14,00	14,90	15,30	16,20	16,80	17,60	18,40	
B.E. 5		4,4	7.024	355	19,8	4.260	13,80	4.350	4.480	4.930	6.030	6.170	6.240	6.270	6.290	14,60	15,10	14,70	12,90	13,70	14,50	15,40	16,30	
B.E. 6		5,5	7.560	378	20,0	4.540	14,00	4.790	5.000	5.670	6.820	6.850	6.900	6.920	6.940	14,20	14,60	13,80	12,40	13,40	14,30	15,20	16,20	
B.E. 7	"	6,6	7.101	593	12,0	7.120	8,40	7.560	7.600	7.670	7.620	7.640	7.640	7.680	7.690	7,87	9,72	10,80	11,60	12,50	13,50	14,50	15,50	
B.E. 8		7,7	6.663	503	13,2	6.050	9,25	6.760	7.300	8.230	8.650	8.700	8.720	8.750	8.770	9,25	9,55	9,40	9,92	10,90	11,80	12,80	13,80	
B.E. 9		8,8	6.353	400	15,9	4.800	11,10	6.450	7.920	9.150	9.600	9.840	9.880	9.920	9.960	9,15	8,35	8,05	8,63	9,55	10,50	11,50	12,40	
B.E. 10		9,9	6.173	385	16,0	4.620	11,20	5.340	6.160	7.450	10.750	10.900	11.000	11.120	11.200	10,65	10,20	9,35	7,32	8,18	9,10	10,00	10,90	
B.E. 11	"	11,0	5.839	340	17,2	4.080	12,00	4.260	4.830	6.300	6.890	7.180	7.240	7.280	7.340	12,50	12,00	10,00	10,70	10,70	11,60	12,50	13,40	Les valeurs de B ₀ à B ₈ sont celles des profils du modèle x 1250 x 0,96
B.E. 12		12,1	6.586	394	16,7	4.730	11,70	4.950	5.190	5.740	5.880	5.930	5.960	6.010	6.050	12,20	12,60	12,30	13,00	14,00	14,90	15,70	16,60	
B.E. 13		13,2	6.716	399	16,9	4.790	11,80	5.200	5.850	5.870	5.930	6.100	6.300	6.370	6.440	11,30	11,40	12,40	13,30	13,90	14,50	15,30	16,10	
B.E. 14		14,3	6.313	474	14,0	5.690	9,78	6.500	6.530	6.900	6.950	7.050	7.100	7.160	7.240	10,70	10,50	10,90	11,80	12,60	13,50	14,40	15,00	
B.E. 15		15,4	5.969	502	17,9	6.030	8,32	6.480	6.540	6.660	6.970	7.090	7.130	7.170	7.200	8,73	9,64	10,50	11,10	11,80	12,70	13,60	14,70	
B.E. 16	"	16,5	5.518	390	14,2	4.680	9,92	5.690	5.960	6.070	6.200	6.350	6.400	6.430	6.470	9,07	9,64	10,50	11,20	12,00	12,80	13,80	14,70	
B.E. 17		17,6	4.897	362	13,5	4.350	9,48	4.520	4.780	5.600	5.750	5.770	5.780	5.800	5.810	10,70	10,50	9,90	10,70	11,60	12,50	13,50	14,50	
B.E. 18		18,7	4.233	320	13,2	3.840	9,27	4.310	4.320	4.320	4.330	4.330	4.330	4.340	4.340	9,23	10,20	11,20	12,20	13,20	14,20	15,10	16,10	
B.E. 19		19,8	4.383	267	15,9	3.200	11,10	3.670	4.520	4.550	4.700	4.740	4.800	4.830	4.870	11,00	9,82	10,80	11,40	12,30	13,10	14,00	14,90	
Terneuzen B.E. 21	"	20,9	4.760	284	16,7	3.410	11,70	3.660	3.890	4.480	4.900	5.110	5.170	5.200	5.240	11,90	12,20	11,50	11,50	12,00	12,80	13,80	14,70	
B.E. 21		22,0	3.857	331	17,6	3.970	8,15	4.400	5.150	5.250	5.420	5.510	5.560	5.630	5.700	8,34	8,03	8,85	9,57	10,40	11,30	12,10	13,00	
B.E. 22		23,1	3.585	347	10,3	4.170	7,24	4.800	5.270	5.640	5.930	5.940	5.940	5.950	5.950	7,20	7,53	8,02	8,62	9,60	10,60	11,60	12,50	
B.E. 23		24,2	3.806	359	10,6	4.300	7,43	4.620	4.980	5.630	5.720	5.790	5.900	5.980	6.060	7,83	8,29	8,26	9,14	10,00	10,80	11,60	12,50	
B.E. 24		25,3	3.304	307	10,7	3.680	7,53	4.280	5.000	5.030	5.040	5.070	5.180	5.220	5.280	7,42	7,27	7,90	9,22	10,20	10,90	11,80	12,70	
B.E. 25	"	26,4	3.620	263	13,8	3.160	9,65	3.440	4.210	4.930	4.980	5.000	5.020	5.040	5.080	9,78	8,91	8,52	9,42	10,40	11,30	12,30	13,10	
B.E. 26		27,5	4.171	307	13,6	3.670	9,57	3.800	3.920	4.250	4.310	4.380	4.460	4.520	4.600	10,10	10,70	10,90	11,80	12,60	13,30	14,10	14,90	
B.E. 27		28,6	4.055	290	14,0	3.480	9,80	3.600	3.780	3.960	4.000	4.020	4.190	4.240	4.300	10,40	10,90	11,40	12,30	13,20	13,70	14,50	15,30	
B.E. 28		29,7	4.059	257	15,8	3.080	11,10	3.280	4.060	4.730	4.810	4.840	4.850	4.870	4.910	11,30	10,70	9,60	10,40	11,30	12,30	13,20	14,10	
B.E. 29	"	30,8	3.674	255	14,4	3.060	10,70	3.420	4.310	4.320	4.330	4.340	4.370	4.380	4.400	9,97	8,82	9,78	10,70	11,70	12,70	13,70	14,60	
B.E. 30		31,9	4.340	314	13,8	3.770	9,68	4.300	4.320	4.350	4.360	4.380	4.410	4.430	4.450	9,31	10,40	11,30	12,30	13,20	14,10	15,10	16,00	
B.E. 31		33,0	4.696	317	14,8	3.530	10,40	3.560	3.630	3.680	3.750	3.820	3.900	3.960	4.030	11,30	12,00	12,80	13,70	15,10	15,10	15,80	16,50	
B.E. 32		34,1	4.203	356	11,8	3.960	8,28	4.170	4.230	4.300	4.350	4.390	4.430	4.460	4.510	8,83	9,70	10,60	11,40	12,30	13,10	14,00	14,80	
B.E. 33		35,2	2.848	303	9,42	3.370	6,58	4.040	4.730	4.830	5.050	5.100	5.210	5.270	5.330	6,42	6,41	7,25	7,93	8,82	9,62	10,50	11,40	
B.E. 34	"	36,3	3.257	269	12,10	3.000	8,47	3.560	3.740	4.210	5.050	5.400	5.480	5.550	5.600	8,04	8,61	8,58	8,07	8,52	9,43	10,30	11,20	
B.E. 35		37,4	3.726	296	12,60	3.290	8,82	3.490	3.660	3.990	4.570	4.650	4.730	4.800	4.880	9,28	9,86	9,98	9,65	10,50	11,30	12,10	12,80	
Hansweert B.E. 37		38,5	3.819	254	15,00	2.820	10,50	2.970	3.250	3.680	3.750	3.820	3.860	3.930	4.000	11,00	11,00	10,70	11,50	12,30	13,10	13,80	15,00	
B.E. 37		39,6	2.977	267	11,10	2.970	7,80	3.400	3.490	3.560	3.670	3.650	3.690	3.740	3.780	7,48	8,27	9,71	10,00	10,90	11,80	12,60	13,40	
B.E. 38	"	40,7	2.969	288	10,30	3.200	7,22	3.300	3.370	3.430	3.460	3.500	3.520	3.570	3.620	8,00	8,82	9,65	10,60	11,40	12,30	13,10	14,00	Bo à B ₈ du modèle x 1250 x 0,89
B.E. 39		41,8	2.945	247	11,90	2.740	8,36	2.890	2.930	2.950	2.980	3.070	3.020	3.070	3.100	8,91	9,80	10,60	11,60	12,50	13,30	14,20	15,10	
B.E. 40		42,9	2.914	231	12,60	2.570	8,82	2.920	3.000	3.020	3.040	3.050	3.130	3.150	3.180	8,72	9,50	10,40	11,30	12,50	13,20	14,10	14,80	
B.E. 41		44,0	2.416	241	10,00	2.680	7,00	2.820	2.960	3.130	3.570	3.630	3.680	3.730	3.780	7,67	8,27	8,80	8,65	9,50	10,40	11,20	12,00	
B.E. 42		45,1	7.910	256	7,47	2.850	5,23	3.040	3.220	3.600	4.150	4.360	4.470	4.490	4.510	5,83	6,48	6,73	6,81	7,45	8,27	9,25	10,20	
B.E. 43		46,2	2.011	238	8,46	2.650	5,92	3.080	3.590	4.090	4.410	4.520	4.560	4.600	4.640	5,97	6,07	6,27	6,79	7,71	8,65	9,57	10,50	
B.E. 44	"	47,3	1.838	220	8,37	2.640	5,85	3.190	3.840	4.070	4.190	4.550	4.670	4.730	4.790	5,76	5,70	6,39	7,12	7,52	8,32	9,03	10,10	Bo à B ₈ du modèle x 1250 x 0,96
B.E. 45		48,4	1.748	233	7,50	2.800	5,25	3.380	4.020	4.570	4.720	4.790	4.880	4.930	5.000	5,28	5,48	5,75	6,62	7,55	8,42	9,32	10,20	
B.E. 46		49,5	7.178	174	6,77	2.090	4,73	2.820	3.380	4.130	5.100	5.120	5.250	5.350	5.460	4,37	4,57	4,62	4,64	5,62	6,47	7,30	8,13	

TABLEAU A₂

Données générales

ANNEXE 29

Profils	Entre distances	Cum. KM	Ω c.m. ² Mod.	B ₀ c.m. Mod.	H ₀ c.m. Mod.	B ₀ m.	H ₀ m.	B ₁ m.	B ₂ m.	B ₃ m.	B ₄ m.	B ₅ m.	B ₆ m.	B ₇ m.	B ₈ m.	H ₁ m.	H ₂ m.	H ₃ m.	H ₄ m.	H ₅ m.	H ₆ m.	H ₇ m.	H ₈ m.	Observations
B.E. 47	1.100	50,6	1.256	144	8,73	1.750	6,12	2.740	4.000	4.520	5.120	5.600	5.800	5.920	6.020	4,67	4,04	4,50	4,91	5,48	6,27	7,15	8,01	Bo à B ₈ du modèle x 1250 x 0,96
B.E. 48	"	51,7	1.412	215	6,58	2.580	6,40	3.020	3.660	4.300	5.120	6.530	6.640	6.710	6.790	4,87	4,93	5,14	5,27	5,02	5,94	6,88	7,80	
B.E. 49	"	52,8	1.335	124	10,80	1.490	7,54	1.620	2.050	2.890	5.330	7.110	7.200	7.300	7.500	7,88	7,13	5,96	4,00	4,08	5,02	5,93	6,86	
B.E. 50	"	53,9	1.445	133	10,90	1.600	7,61	1.780	2.400	3.320	5.490	7.110	7.170	7.220	7.260	7,78	6,64	5,63	4,22	3,91	4,87	5,83	6,78	
B.E. 51	"	55,0	1.225	164	7,48	1.970	5,23	1.990	2.030	2.400	4.450	6.760	6.840	6.900	6.960	6,17	7,06	6,90	4,41	3,64	4,60	5,53	6,48	
Bath	"	56,1	1.167	180	6,48	2.160	4,53	2.340	2.590	2.640	2.700	6.030	6.120	6.220	6.310	5,13	5,58	6,38	7,33	3,88	4,81	5,72	6,64	Bo à B ₈ du modèle x 1250 x 0,85
B.E. 53	"	57,2	1.447	202	7,17	2.420	5,02	2.660	2.860	4.540	5.150	5.470	7.550	7.660	7.780	5,51	5,47	4,73	4,97	5,62	5,08	5,99	6,89	
B.E. 54	"	58,3	1.287	137	9,40	1.640	6,57	1.990	2.470	2.480	3.280	4.680	5.960	6.080	6.440	6,33	6,17	7,00	6,22	5,19	5,01	5,79	6,57	
B.E. 55	"	59,4	1.104	138	8,00	1.470	5,60	1.550	1.570	1.660	1.880	3.240	3.360	3.470	3.460	6,44	7,35	7,94	7,91	5,28	6,10	7,00	7,90	
B.E. 56	"	60,5	800	88	9,10	936	6,37	1.170	1.260	1.360	1.440	2.530	3.710	3.820	3.940	5,98	6,48	7,00	7,57	5,71	4,47	5,32	6,15	
B.E. 57	"	61,6	734	96	7,64	1.020	5,35	1.070	1.120	1.310	1.510	1.720	1.970	2.190	2.400	6,05	6,72	6,73	6,76	6,87	6,92	7,20	7,53	Bo à B ₈ du modèle x 1250 x 0,85
B.E. 58	"	62,7	603	107	5,64	1.140	3,94	1.220	1.280	1.330	1.380	1.440	1.450	1.510	1.550	4,66	5,42	6,19	6,95	7,60	8,53	9,23	9,95	
B.E. 59	"	63,8	514	82	6,26	872	4,38	978	1.050	1.090	1.160	1.210	1.270	1.340	1.400	4,85	5,47	6,23	6,88	7,62	8,21	8,80	9,37	
B.E. 60	"	64,9	676	81	8,35	862	5,85	931	960	998	1.070	1.110	1.170	1.220	1.280	6,37	7,16	7,87	8,31	9,03	9,55	10,10	10,60	
B.E. 61	"	66,0	631	67,5	9,36	716	6,55	870	908	1.010	1.060	1.120	1.180	1.250	1.310	6,37	7,08	7,25	8,00	8,65	9,16	9,70	10,20	Bo à B ₈ du modèle x 1250
E. 1	"	67,2	523	58	9,03	725	6,32	935	987	1.040	1.100	1.150	1.200	1.260	1.320	5,78	6,45	7,09	7,68	8,31	8,92	9,50	10,10	
Lillo	"	68,2	638	64	10,00	800	7,00	840	881	918	954	990	1.130	1.060	1.100	7,62	8,24	8,88	9,48	10,00	10,70	11,30	11,90	
E. 3	1.075	69,3	642	61	10,50	763	7,37	800	843	870	897	925	955	980	1.010	8,02	8,56	9,30	10,00	10,70	11,30	12,10	12,80	
E. 4	1.110	70,4	540	53	10,20	663	7,13	713	750	788	825	863	900	938	975	7,60	8,18	8,78	9,35	9,95	10,50	11,10	11,60	
E. 5	1.300	71,7	491	68	7,22	845	5,06	880	915	947	980	1.010	1.040	1.070	1.100	5,85	6,58	7,32	8,02	8,72	9,45	10,10	10,80	Bo à B ₈ du modèle x 1250
E. 6	1.085	72,8	374	48	7,80	595	5,45	653	685	717	750	783	815	848	880	5,97	6,65	7,35	8,00	8,65	9,30	9,90	10,50	
E. 7	1.265	74,0	563	67	8,40	836	5,88	895	954	1.010	1.070	1.130	1.190	1.240	1.310	6,47	7,03	7,60	8,17	8,72	9,25	9,80	10,30	
E. 8	1.215	75,2	555	55	10,10	688	7,07	705	726	750	770	793	815	836	858	7,87	8,64	9,37	10,10	10,80	11,50	12,20	12,80	
E. 9	1.125	76,3	444	43,4	10,20	542	7,17	565	585	606	705	736	744	764	784	7,83	8,58	9,25	8,87	9,48	10,35	11,10	11,80	
E. 10	1.200	77,6	403	43,5	9,27	544	6,48	580	645	669	694	718	742	768	790	7,05	7,28	8,00	8,69	9,40	10,10	10,70	11,40	Bo à B ₈ du modèle x 1250
E. 11	1.125	78,7	374	43,2	8,67	540	6,07	602	650	675	700	725	750	775	800	6,39	6,86	7,58	8,27	8,94	9,65	10,30	11,00	
E. 12	1.175	79,9	372	37,8	9,85	473	6,89	500	528	555	581	608	635	663	690	7,47	8,07	8,68	9,24	9,80	10,35	10,90	11,40	
E. 13	995	80,9	345	30,4	11,30	380	7,94	410	443	459	483	506	532	555	580	8,33	8,84	9,33	9,84	10,30	10,80	11,40	11,80	
Anvers	905	81,8	503	36,8	13,70	460	9,58	474	488	502	515	530	543	557	570	10,60	11,00	11,60	12,30	12,90	13,70	14,30	14,90	
E. 15	925	82,7	315	30,8	10,20	385	7,16	394	401	410	417	426	433	443	450	7,98	8,83	9,63	10,40	11,20	12,00	12,70	13,50	Bo à B ₈ du modèle x 1250
E. 16	1.015	83,7	332	26,4	12,60	330	8,80	366	341	348	353	358	364	370	375	9,65	10,50	11,40	12,20	12,90	13,80	14,60	15,30	
E. 17	1.045	84,8	255	28,6	8,93	358	6,25	393	433	463	484	498	510	524	537	6,64	6,90	7,50	8,17	8,90	9,67	10,40	11,10	
E. 18	1.040	85,8	238	35,6	6,70	445	4,68	465	495	520	535	550	565	580	595	5,44	6,09	6,77	7,57	8,33	9,10	9,86	10,60	
E. 19	960	86,8	279	32,0	8,73	400	6,17	410	430	436	444	450	456	463	470	6,93	7,60	8,47	9,32	10,20	11,00	11,80	12,60	
E. 20	1.050	87,8	242	25,6	9,48	320	6,63	325	334	339	344	349	354	359	365	7,52	8,30	9,17	10,00	10,90	11,70	12,50	13,30	Bo à B ₈ du modèle x 1250
E. 21	1.130	88,9	203	28,2	7,20	352	5,04	366	396	427	459	491	523	555	585	5,79	6,38	6,90	7,40	7,90	8,40	8,88	9,40	
E. 22	1.300	90,2	254	31,0	8,20	388	5,73	405	435	460	487	515	544	570	603	6,47	7,00	7,59	8,13	8,68	9,20	9,75	10,20	
E. 23	985	91,2	268	31,2	8,60	390	6,02	398	431	451	472	493	514	534	555	6,68	7,31	7,94	8,55	9,17	9,76	10,40	10,90	
E. 24	"	92,2	261	26,8	9,76	335	6,82	356	378	400	421	442	464	486	508	7,37	7,92	8,43	8,97	9,47	10,00	10,50	11,10	
E. 25	"	93,2	221	25,0	8,85	313	6,19	330	348	366	384	402	419	437	455	6,82	7,43	8,00	8,60	9,24	9,83	10,40	11,00	Bo à B ₈ du modèle x 1250
E. 26	"	94,2	199	24,0	8,30	300	5,81	314	329	343	358	371	386	400	415	6,52	7,20	7,88	8,52	9,17	9,80	10,40	11,00	
E. 27	1.165	95,3	158	21,2	7,47	265	5,22	284	302	322	342	360	379	399	417	5,83	6,41	6,98	7,54	8,13	8,69	9,23	9,80	
Hingene	1.435	96,8	166	24,8	6,70	310	4,69	345	381	451	472	516	560	605	650	5,14	5,58	5,62	6,33	6,73	7,17	7,60	8,05	Bo à B ₈ du modèle x 1250
E. 29	980	97,8	102	24,0	4,26	300	2,98	316	342	374	402	433	463	493	523	3,80	4,49	5,08	5,67	6,21	6,77	7,35	7,88	
E. 30	810	98,6	83,8	21,5	3,90	269	2,73	295	320	346	371	398	422	449	475	3,44	4,15	4,80	5,45	6,06	6,67	7,26	7,83	
E. 31	815	99,4	145	26,4	5,50	330	3,85	354	394	432	473	511	551	590	630	4,54	5,03	5,53	6,02	6,52	7,03	7,50	8,02	
E. 32	660	100,0	86,5	22,0	3,94	275	2,76	375	468	513	558	605	648	695	740	2,70	3,71	3,80	4,45	5,08	5,68	6,28	6,86	

TABLEAU A3

Données générales

ANNEXE 30

Profils	Entre distances	Cum. km.	Ω c.m. ² mod.	B ₀ c.m. mod.	H ₀ c.m. mod.	B ₀ m.	H ₀ m.	B ₁ m.	B ₂ m.	B ₃ m.	B ₄ m.	B ₅ m.	B ₆ m.	B ₇ m.	B ₈ m.	H ₁ m.	H ₂ m.	H ₃ m.	H ₄ m.	H ₅ m.	H ₆ m.	H ₇ m.	H ₈ m.	Observations
E. 33	885	100,9	119	15,5	7,72	191	5,41	275	350	388	418	444	470	495	525	4,58	4,48	4,99	5,43	6,22	6,87	7,51	8,02	
E. 34	885	101,8	112	15,6	7,20	195	5,04	273	258	310	364	416	470	523	575	5,58	5,52	5,48	5,60	5,83	6,08	6,43	6,80	
E. 35	750	102,6	110	21,6	5,08	270	3,56	296	323	351	380	408	435	464	493	4,20	4,78	5,36	5,92	6,47	7,03	7,58	8,09	
E. 36	775	103,3	105	14,0	7,50	175	5,25	215	281	308	334	360	387	412	440	5,08	4,83	5,37	5,90	6,43	6,97	7,48	7,98	
E. 37	835	104,2	105	13,5	7,80	169	5,45	232	320	371	412	453	495	537	578	4,79	4,25	4,71	5,18	5,65	6,13	6,63	7,13	
E. 38	835	105,0	87,70	18,0	4,87	226	3,41	242	265	289	313	336	360	384	408	4,13	4,72	5,29	5,83	6,38	6,93	7,47	8,00	
E. 39	850	105,9	76,3	16,0	4,76	200	3,34	216	238	261	284	306	329	351	375	4,03	4,60	5,18	5,72	6,26	6,78	7,33	7,84	
E. 40	870	106,7	78,8	16,4	4,80	205	3,36	214	231	249	268	285	304	322	340	4,20	4,95	5,82	6,76	7,80	8,28	8,81	9,30	
Tielrode	820	107,6	151	18,8	8,03	235	5,62	246	262	279	295	312	328	344	360	6,35	6,97	7,54	8,10	8,67	9,21	9,76	10,30	
E. 42	737	108,3	66,7	11,7	5,70	146	4,00	170	190	210	220	228	235	242	250	4,37	4,83	5,33	6,07	6,78	7,62	8,35	9,09	
E. 43	775	109,1	77,2	15,8	4,89	197	3,42	208	244	279	304	330	355	380	405	4,05	4,52	4,87	5,42	5,92	6,48	7,02	7,55	
E. 44	650	109,7	55,5	19,8	2,80	248	1,96	268	278	288	299	310	320	331	342	2,79	3,67	4,52	5,33	6,12	6,91	7,67	8,39	
E. 45	700	110,4	58,1	8,9	6,53	171	4,57	134	169	195	225	250	275	300	325	4,70	4,61	4,94	5,21	5,67	6,06	6,52	6,98	
E. 46	730	111,2	47,0	15,0	3,14	187	2,20	214	240	266	292	319	345	371	398	2,84	3,48	4,07	4,65	5,22	5,79	6,34	6,88	
E. 47	680	111,8	60,3	14,5	4,16	181	2,91	200	220	240	256	275	284	312	330	3,59	4,21	4,82	5,48	6,07	6,64	7,50	8,07	
E. 48	738	112,6	49,3	9,5	5,20	119	3,64	132	144	155	166	177	189	200	210	4,20	4,84	5,47	6,05	6,62	7,19	7,78	8,38	
E. 49	675	113,2	43,2	11,4	3,80	142	2,66	173	194	212	235	258	369	382	390	3,10	3,70	4,34	4,87	5,38	4,60	5,42	6,33	
E. 50	437	113,7	52,5	14,2	3,70	177	2,59	194	206	218	229	241	252	264	275	3,34	4,09	4,85	5,57	6,23	6,93	7,60	8,30	
E. 51	438	114,1	39,8	8,0	4,98	100	3,48	115	124	131	140	148	156	164	172	3,96	4,64	5,33	5,98	6,66	7,25	7,88	8,47	
E. 52	505	114,6	50,2	7,7	6,52	96,4	4,57	101	109	116	125	132	140	148	155	5,32	5,92	6,49	6,97	7,50	8,03	8,55	9,05	
E. 53	485	115,1	30,8	6,2	4,97	77,5	3,48	132	145	157	170	182	195	207	220	2,98	3,68	4,36	5,01	5,61	6,27	6,84	7,42	
E. 54	585	115,7	28,9	14,0	2,06	175	1,44	186	194	201	208	214	220	224	235	2,32	3,22	4,07	4,92	5,76	6,57	7,34	8,08	
Buggeah.	625	116,3	44,5	7,0	6,36	87,5	4,45	92,5	100	108	115	122	130	138	145	5,19	5,77	6,32	6,87	7,44	7,94	8,48	9,04	
E. 56	305	116,6	41,7	8,5	4,90	106	3,44	126	139	150	161	173	184	195	206	3,81	4,42	5,03	5,65	6,27	6,83	7,42	7,98	
E. 57	480	117,1	42,1	7,0	6,02	87,5	4,21	92,5	100	111	122	134	145	156	167	4,81	5,41	5,82	6,25	6,68	7,13	7,58	8,04	
E. 58	437,5	117,5	30,2	6,5	4,65	81,5	3,25	92,5	112	132	152	172	192	212	232	3,79	4,02	4,32	4,68	5,08	5,50	5,83	6,38	
E. 59	680	118,2	30,5	7,8	3,92	97,5	2,74	102	107	110	112	115	117	120	122	3,57	4,37	5,24	6,03	6,83	7,78	8,60	9,40	
E. 60	305	118,5	36,5	4,7	7,77	58,8	5,43	61,3	67,5	73,8	78,8	85	90,1	96,3	102	6,22	6,59	6,96	7,43	7,88	8,43	8,83	9,25	
E. 61	550	119,1	21,5	8,0	2,69	100	1,88	112	121	130	137	146	154	162	170	2,62	3,37	4,10	4,84	5,53	6,23	6,88	7,53	
E. 62	680	119,8	33,3	5,1	6,53	63,8	4,57	70	73,8	77,6	82,6	86,4	91,4	95,1	100	5,10	5,82	6,50	7,10	7,83	8,32	8,97	9,48	
E. 63a.	390	120,1	37,2	7,1	5,24	88,9	3,67	95,1	102	109	115	121	127	134	140	4,40	5,02	5,69	6,34	6,98	7,64	8,25	8,85	
E. 64	330	120,5	54,4	6,2	8,78	77,6	6,14	82,6	87,6	92,6	97,5	102	107	112	117	6,73	7,33	7,90	8,47	9,00	9,63	10,20	10,80	
E. 63b.	325	120,8	23,6	7,4	3,18	92,6	2,22	101	106	110	112	116	119	121	125	3,00	3,85	4,70	5,58	6,37	7,21	8,07	8,83	
E. 65	635	121,4	28,1	5,0	5,62	62,5	3,94	66,3	70	75	80,1	85,1	90,1	95,1	100	4,69	5,42	6,05	6,66	7,24	7,81	8,38	8,92	
E. 63c.	475	121,9	23,8	6,3	3,78	78,8	2,64	85,1	88,9	93,8	97,5	102	106	111	115	3,42	4,25	5,00	5,71	6,48	7,22	7,88	8,61	
E. 66	587,5	122,5	23,5	6,9	3,40	86,4	2,38	92,6	97,5	104	110	116	122	129	135	3,18	4,01	4,73	5,44	6,12	6,79	7,44	8,05	
E. 67	630	123,1	43,7	5,7	7,66	71,2	5,36	76,3	80	83,8	87,5	91,3	95	98,8	102	5,97	6,69	7,37	8,04	8,68	9,30	7,92	10,40	
E. 68	450	123,6	12,3	7,5	7,64	93,8	1,15	115	122	126	130	134	137	141	145	1,86	2,73	3,63	4,52	5,37	6,17	7,02	7,78	
E. 69	445	124,0	28,1	8,1	3,47	101	2,43	106	110	112	115	117	120	122	125	3,29	4,17	5,06	5,95	6,82	7,65	8,50	9,35	
E. 70	520	124,6	36,6	5,3	6,92	66,3	4,84	70	73,8	80	85,1	91,3	96,3	102	107	5,55	6,23	6,70	7,29	7,80	8,36	8,78	9,35	
E. 71	437,5	125,0	24,6	7,0	3,52	87,5	2,46	93,8	97,5	101	105	109	112	116	120	3,28	4,12	4,95	5,77	6,53	7,32	8,05	8,75	
E. 72	475	125,5	22,4	5,7	3,93	71,2	2,75	90	106	116	125	135	144	154	162	3,07	3,54	4,18	4,85	5,46	6,10	6,67	7,28	
E. 73	605	126,1	19,0	7,2	2,64	90,0	1,85	96,3	101	110	117	126	134	142	150	2,68	3,53	4,21	4,90	5,52	6,17	6,76	7,42	
E. 74	492,5	126,6	27,3	5,2	5,25	65,0	3,68	73,8	81,3	87,5	92,5	98,8	104	110	115	4,17	4,85	5,46	6,13	6,70	7,36	7,91	8,53	
Termonde	585	127,2	27,6	6,7	4,12	83,8	2,88	87,5	88,8	91,3	92,5	95	96,3	98,8	100	3,74	4,67	5,55	6,47	7,27	8,15	8,93	9,80	
E. 76	516	127,7	11,8	6,3	1,87	78,8	1,31	87,5	91,3	95	98,8	102	106	110	114	2,10	2,88	3,81	4,63	5,42	6,14	7,00	7,74	
E. 77	522	128,2	13,6	5,2	2,62	65	1,83	80	86,3	87,5	88,8	90	91,3	92,5	93,8	2,43	3,22	4,18	5,10	6,03	6,93	7,83	8,72	
E. 78	517	128,7	37,6	5,2	7,23	65	5,06	71,2	81,3	88,1	91,3	94,4	97,5	101	104	5,58	5,83	6,35	7,12	7,87	8,60	9,32	9,96	
E. 79	264	129,0	28,3	4,2	6,74	52,5	4,72	57,5	61,3	65	68,8	72,5	76,3	80	83,8	5,27	5,92	6,55	7,18	7,80	8,40	8,97	9,53	
E. 80	500	129,5	8,24	6,0	1,37	75	0,96	82,5	91,3	98,1	102	107	111	116	120	1,82	2,59	3,40	4,23	5,06	5,83	6,58	7,32	
E. 81	437	129,9	23,2	4,7	4,94	58,8	3,46	63,8	68,8	70,6	72,5	74,4	76,3	78,1	80	4,16	4,85	5,71	6,54	7,35	8,15	8,94	9,72	
E. 82	276	130,2	19,6	4,4	4,46	55	3,72	60	68,8	77,5	83,8	90,0	96,3	102	109	3,86	4,34	4,83	5,47	6,07	6,63	7,20	7,75	

TABLEAU A4

Données générales

ANNEXE 31

Profils	Entre distances	Cum. km.	Ω c.m. Mod.	Bo c.m. Mod.	Ho c.m. Mod.	Bo m.	Ho m.	B1 m.	B2 m.	B3 m.	B4 m.	B5 m.	B6 m.	B7 m.	B8 m.	H1 m.	H2 m.	H3 m.	H4 m.	H5 m.	H6 m.	H7 m.	H8 m.	Observations
E. 83	319	130,5	24,40	4,2	5,8	52,50	4,07	58,80	63,80	68,80	73,80	78,80	83,80	88,80	93,80	4,57	5,17	5,72	6,22	6,68	7,27	7,81	8,37	
E. 84	410	130,9	16,70	4,5	3,7	56,30	2,60	68,80	75,00	78,10	81,30	84,40	87,50	90,60	93,80	3,07	3,78	4,60	5,42	6,20	6,96	7,70	8,43	
E. 85	347	131,3	12,00	5,1	2,4	63,80	1,65	68,80	70,60	71,80	73,10	74,40	75,60	76,90	78,10	2,47	3,41	4,35	5,27	6,18	7,08	7,93	8,80	
E. 86	502	131,8	3,53	5,6	0,63	70,00	0,44	80,00	85,70	90,00	94,40	98,80	103,00	107,00	112,00	1,35	2,24	3,11	3,95	4,75	5,52	6,28	7,00	
E. 87	564	132,3	6,68	4,1	1,6	51,30	1,14	68,80	83,10	86,30	89,40	92,50	95,60	98,80	102,00	1,74	2,48	3,53	4,53	5,50	6,31	7,10	7,84	
E. 88	474	132,8	9,46	5,3	1,8	66,30	1,25	70,00	73,80	76,90	80,00	83,10	86,30	89,40	92,50	2,16	3,04	4,03	4,87	5,67	6,46	7,20	7,95	
E. 89	488	133,3	19,70	5,3	3,7	66,30	2,60	71,20	75,00	77,50	80,00	82,50	85,00	87,50	90,00	3,38	4,12	5,04	5,85	6,66	7,44	8,22	8,97	
E. 90	506	133,8	7,34	5,2	1,4	65,00	0,99	71,20	75,00	78,10	81,30	84,40	87,50	90,60	93,80	1,86	2,73	3,60	4,43	5,27	6,06	6,83	7,58	
E. 91	504	134,3	7,34	5,0	1,5	62,50	1,03	73,80	80,00	85,60	91,30	96,90	102,00	108,00	114,00	1,80	2,62	3,40	4,17	4,90	5,60	6,28	6,94	
E. 92	519	134,8	10,20	3,2	3,2	40,00	2,24	53,80	67,50	73,10	78,80	84,40	90,00	95,60	101,00	2,54	2,94	3,67	4,37	5,03	5,78	6,41	7,03	
E. 93	505	135,3	6,40	3,3	1,9	47,30	1,36	52,50	62,50	65,60	68,80	71,80	75,00	80,00	93,80	1,92	2,56	3,42	4,26	5,05	5,82	6,42	6,47	
E. 94	497	135,8	6,61	4,4	1,5	55,00	1,05	67,50	75,00	76,30	77,50	78,80	80,00	88,80	96,90	1,80	2,58	3,52	4,45	5,38	6,28	6,62	7,01	
E. 95	500	136,3	4,03	4,7	0,86	58,80	0,60	71,20	75,00	77,50	80,00	82,50	85,00	87,50	90,00	1,45	2,37	3,28	4,17	5,03	5,88	6,69	7,49	
E. 96	498	136,8	7,97	3,7	2,1	46,30	1,51	55,00	63,80	65,60	67,50	69,40	71,20	73,10	75,00	2,22	2,85	3,76	4,63	5,48	6,32	7,16	7,94	
E. 97	500	137,3	5,24	3,6	1,5	45,00	1,02	56,30	63,10	65,00	66,90	68,80	70,60	72,50	74,40	1,72	2,48	3,38	4,27	5,13	5,98	6,82	7,65	
E. 98	501	137,8	11,50	4,2	2,7	52,50	1,92	57,50	62,50	65,60	68,80	71,80	75,00	82,50	90,00	2,72	3,46	4,30	5,09	5,88	6,62	6,98	7,34	
E. 99	505	138,3	5,39	4,7	1,2	58,80	0,83	63,80	65,00	67,50	70,00	72,50	75,00	82,50	90,00	1,70	2,81	3,72	4,56	5,38	6,19	6,58	7,00	
E. 100	505	138,8	7,51	3,8	2,0	47,50	1,38	53,80	61,30	65,00	68,80	72,50	76,30	83,10	90,00	2,19	2,88	3,70	4,48	5,22	5,94	6,41	6,88	
E. 101	506	139,4	5,65	3,6	1,6	45,00	1,10	53,80	57,50	60,60	63,80	65,60	70,00	76,30	82,50	1,93	2,79	3,64	4,45	5,22	5,98	6,45	6,92	
E. 102	504	139,9	7,09	3,5	2,0	43,80	1,42	50,00	57,50	60,60	63,80	65,60	70,00	76,90	83,80	2,19	2,86	3,68	4,47	5,22	5,98	6,40	6,82	
E. 103	505	140,4	3,56	3,8	0,94	47,50	0,66	55,00	60,00	63,10	66,30	69,40	72,50	77,50	81,90	1,49	2,35	3,23	4,05	4,84	5,61	6,22	6,87	
E. 104	509	140,9	9,20	2,8	3,3	35,00	2,30	43,80	51,30	54,40	57,50	60,60	63,80	71,80	80,00	2,76	3,29	4,09	4,87	5,61	6,30	6,53	6,81	
E. 105	502	141,4	5,82	2,7	2,2	33,80	1,51	50,00	56,30	59,40	62,50	65,60	68,80	75,00	81,90	1,87	2,63	3,46	4,28	5,05	5,81	6,28	6,72	
E. 106	511	141,9	3,35	3,3	1,0	47,30	0,71	53,80	57,50	60,60	63,80	66,90	70,00	76,90	83,80	1,48	2,35	3,20	4,00	4,78	5,55	6,00	6,47	
E. 107	505	142,4	11,90	2,9	4,1	36,30	2,88	40,00	45,00	48,10	51,30	54,40	57,50	68,80	80,00	3,51	4,02	4,70	5,34	5,97	6,63	6,47	6,48	
E. 108	511	142,9	2,00	3,2	0,62	40,00	0,44	52,50	58,10	61,30	64,40	67,50	70,60	76,90	83,10	1,18	2,02	2,91	3,76	4,58	5,34	5,88	6,40	
E. 109	507	143,4	3,80	2,7	1,4	33,80	0,99	47,50	62,50	63,80	65,00	66,30	67,50	73,10	78,80	1,54	2,05	3,00	3,94	4,84	5,74	6,26	6,78	
E. 110	506	143,9	5,87	2,8	2,1	35,00	1,46	43,80	53,80	56,90	60,00	63,10	66,30	75,00	83,80	2,05	2,56	3,38	4,17	4,93	5,68	5,91	6,41	
E. 111	501	144,4	5,01	3,3	1,5	47,30	1,06	47,50	55,00	57,50	60,00	62,50	65,00	70,60	76,30	1,82	2,52	3,42	4,28	5,11	5,88	6,37	6,86	
E. 112	527	144,9	4,88	2,6	1,9	32,50	1,31	42,50	51,90	54,40	56,90	59,40	61,90	68,10	74,40	1,92	2,46	3,34	4,17	4,96	5,73	6,18	6,62	
E. 113	502	145,4	1,28	2,5	0,51	31,30	0,36	51,30	56,30	58,10	60,00	61,90	63,80	68,80	73,80	1,08	1,94	2,87	3,76	4,62	5,47	6,03	6,61	
E. 114	505	145,9	1,24	2,8	0,45	35,00	0,31	47,50	52,50	55,60	58,80	61,90	65,00	70,00	75,00	1,09	1,93	2,75	3,54	4,30	5,07	5,72	6,26	
E. 115	505	146,5	2,47	2,6	0,95	32,50	0,66	45,00	51,30	53,80	56,30	58,80	61,30	65,60	70,60	1,42	2,18	3,07	3,97	4,78	5,57	6,17	6,75	
E. 116	506	147,0	6,71	2,3	2,7	28,80	1,86	35,00	42,50	50,00	52,50	55,00	57,50	64,40	71,20	2,45	2,94	3,44	4,25	5,05	5,82	6,16	6,48	
E. 117	507	147,5	2,51	2,9	0,87	36,30	0,61	42,50	48,80	51,30	53,80	56,30	58,80	65,00	71,20	1,35	2,08	2,93	3,76	4,58	5,35	5,78	6,23	
E. 118	506	148,0	2,30	3,0	0,77	37,50	0,54	45,00	52,50	55,00	57,50	60,00	62,50	67,50	73,10	1,36	2,11	3,00	3,87	4,70	5,50	6,05	6,56	
E. 119	505	148,5	1,73	2,2	0,79	27,50	0,55	38,80	50,00	52,50	55,00	57,50	60,00	65,00	70,00	1,24	1,85	2,73	3,58	4,39	5,19	5,75	6,30	
E. 120	501	149,0	1,35	2,4	0,56	30,00	0,39	37,50	45,00	47,50	50,00	52,50	55,00	62,50	70,00	1,23	1,94	2,82	3,66	4,48	5,20	5,53	5,88	
E. 121	509	149,5	0	0	0	0	0	40,00	46,30	50,00	53,80	57,50	61,30	65,60	70,00	0,93	1,77	2,61	3,38	4,11	4,82	5,48	6,09	
E. 122	507	150,0	2,86	2,0	1,4	25,00	1,00	33,80	42,50	44,40	46,20	48,10	50,00	57,90	53,80	1,62	2,22	3,14	4,03	4,88	5,67	6,43	7,20	
E. 123	990	151,1	1,27	1,6	0,79	20,00	0,55	30,00	38,80	43,80	48,80	53,80	58,80	63,80	68,80	1,06	1,68	2,46	3,16	3,81	4,45	5,06	5,65	
E. 124	992	152,1	2,80	1,7	1,6	21,30	1,15	27,50	37,50	41,90	46,30	50,60	55,00	59,40	63,80	1,75	2,16	2,89	3,58	4,21	4,83	5,43	6,03	
E. 125	989	153,1	0	0	0	0	0	31,30	46,30	48,80	51,30	55,00	57,50	60,00	63,10	0,40	1,74	2,00	2,83	3,57	4,38	5,18	5,91	
E. 126	991	154,1	0	0	0	0	0	28,80	38,80	42,50	45,00	48,80	51,30	53,80	56,90	0,75	1,46	2,28	3,11	3,83	4,61	5,37	6,18	
E. 127	987	155,1	0	0	0	0	0	25,00	36,30	40,00	43,80	47,50	51,30	55,60	60,00	0,81	1,45	2,34	3,15	3,89	4,73	5,33	5,88	
E. 128	1.021	156,1	2,13	1,8	1,2	22,50	0,83	30,00	36,90	39,40	41,90	44,40	46,90	49,40	51,90	1,52	2,17	3,03	3,84	4,61	5,33	6,03	6,27	
E. 129	1.013	157,1	0	0	0	0	0	25,00	35,60	39,40	43,10	46,90	50,60	54,40	58,10	0,67	1,29	2,11	2,87	3,60	4,28	5,00	5,70	
E. 130	1.013	158,1	0	0	0	0	0	16,30	34,40	38,10	41,90	45,60	49,40	53,10	56,90	0,45	1,07	1,94	3,07	3,83	4,50	5,18	5,87	
E. 131	1.003	159,1	0	0	0	0	0	18,80	28,80	32,50	36,30	41,30	46,30	51,30	56,30	0,32	1,06	1,87	2,66	3,29	3,88	4,46	5,02	
E. 132	1.017	160,1	0	0	0	0	0	13,80	27,50	31,30	36,30	41,30	46,30	51,30	56,30	0,28	0,96	1,80	2,51	3,16	3,77	4,33	4,92	
E. 133	1.008	161,1	0	0	0	0	0	12,50	18,80	25,00	31,30	37,50	43,80	50,00	56,30	0,20	1,26	2,29	3,02	3,68	4,08	4,50	4,95	
E. 134	1.012	162,1	0	0	0	0	0	8,75	25,00	37,50	41,30	45,00	48,80	52,50	56,30	0,18	0,72	1,32	2,19	2,97	3,71	4,44	5,17	
E. 135	1.024	163,2	0	0	0	0	0																	

TABLEAU B1.

Données générales

ANNEXE 32

Profils	Cum. Kml.	Σ B0	Σ B1	Σ B2	Σ B3	Σ B4	Σ B5	Σ B6	Σ B7	Σ B8	Σ H0	Σ H1	Σ H2	Σ H3	Σ H4	Σ H5	Σ H6	Σ H7	Σ H8
B.E.1	0,0	4.640	4.680	4.750	4.820	4.860	4.910	4.940	4.970	5.020	14,90	15,70	16,60	17,30	18,10	18,90	19,90	20,70	21,60
B.E.2	1,1	8.700	8.890	9.010	9.130	9.230	9.340	9.400	9.500	9.620	30,30	31,40	33,10	34,60	36,20	37,80	39,50	41,10	42,70
B.E.3	2,2	13.400	13.640	13.790	13.990	14.150	14.330	14.470	14.650	14.830	45,70	47,60	50,20	52,50	54,80	57,10	59,50	61,80	64,10
Wissingen	3,3	18.440	18.840	19.160	19.470	19.780	20.010	20.310	20.550	20.780	58,90	61,10	64,20	67,40	70,10	73,30	76,30	79,40	82,50
B.E.5	4,4	22.700	23.190	23.640	24.340	25.010	25.780	26.550	26.820	27.070	72,70	75,70	79,30	82,10	83,00	87,00	90,80	94,80	98,80
B.E.6	5,5	27.240	27.980	28.640	30.010	32.630	33.030	33.450	33.740	34.010	86,70	89,90	93,90	95,90	95,40	100,40	105,10	110,00	115,00
B.E.7	6,6	34.360	35.540	36.240	37.620	40.250	40.670	41.090	41.420	41.700	95,10	97,77	103,62	106,70	107,00	112,90	118,60	124,50	130,50
B.E.8	7,7	40.470	42.300	43.540	45.850	48.900	49.370	49.810	50.170	50.470	104,35	107,02	113,17	116,10	116,92	123,80	130,40	137,30	144,30
B.E.9	8,8	45.210	48.750	51.460	55.000	58.500	59.210	59.690	60.090	60.430	115,45	116,17	121,52	124,15	125,55	133,35	140,90	148,80	156,70
B.E.10	9,9	49.830	54.090	57.620	62.450	69.250	70.110	70.690	71.210	71.630	126,65	126,82	131,72	133,50	132,87	141,53	150,00	158,80	167,60
B.E.11	11,0	53.910	58.350	62.450	68.750	76.140	77.290	77.930	78.490	78.970	138,65	139,32	143,72	143,50	142,97	152,23	161,60	171,30	181,00
B.E.12	12,1	58.640	63.300	67.640	74.490	82.020	83.220	83.890	84.500	85.020	150,35	151,52	156,32	155,80	155,97	166,23	176,50	187,00	197,60
B.E.13	13,2	63.430	68.500	73.490	80.360	87.950	89.320	90.190	90.870	91.460	162,15	163,32	167,52	168,20	169,27	180,13	191,00	202,30	213,70
B.E.14	14,3	69.120	75.000	80.020	87.260	94.900	96.370	97.290	98.030	98.700	171,93	175,02	178,22	179,10	181,07	192,73	204,50	216,70	229,00
B.E.15	15,4	75.150	81.480	86.560	93.920	101.810	103.460	104.420	105.200	105.900	180,25	183,75	187,86	189,60	192,17	204,53	217,20	230,30	243,70
B.E.16	16,5	79.830	87.170	92.520	99.930	108.070	109.870	110.820	111.630	112.370	190,17	192,82	197,50	200,10	203,37	216,53	230,00	244,10	258,40
B.E.17	17,6	84.180	91.690	97.300	105.530	113.760	115.580	116.600	117.430	118.180	199,65	202,92	208,00	210,00	214,07	228,13	242,50	257,60	272,90
B.E.18	18,7	88.020	96.000	101.620	109.850	118.090	119.970	120.930	121.770	122.520	208,92	212,15	218,20	221,20	226,27	241,53	256,70	272,70	289,00
B.E.19	19,8	91.220	99.670	106.140	114.400	122.790	124.650	125.730	126.600	127.390	220,02	223,15	228,02	232,00	237,67	253,63	269,80	286,20	303,90
Terneuzen	20,9	94.630	103.330	110.030	118.880	127.690	129.760	130.900	131.800	132.630	237,72	235,05	240,22	243,50	249,17	265,63	282,60	300,00	318,60
B.E.21	22,0	98.600	107.730	115.180	124.130	133.710	135.270	136.460	137.430	138.330	239,87	243,39	248,25	252,35	258,74	276,03	293,90	312,70	331,60
B.E.22	23,1	102.770	112.530	120.450	129.770	139.040	141.210	142.400	143.380	144.280	247,71	250,59	255,78	260,37	267,36	285,63	304,50	323,70	344,10
B.E.23	24,2	107.070	117.150	125.430	135.400	144.760	147.000	148.300	149.360	150.340	254,54	258,47	264,07	268,63	276,50	295,63	315,30	335,30	356,60
B.E.24	25,3	110.750	121.430	130.430	140.430	149.800	152.070	153.480	154.580	155.620	262,07	265,89	271,34	276,53	285,72	305,83	326,20	347,10	369,00
B.E.25	26,4	113.910	124.870	134.640	145.360	154.780	157.070	158.500	159.620	160.700	271,72	275,67	280,25	285,05	295,14	316,23	337,50	359,40	382,40
B.E.26	27,5	117.520	128.670	138.560	149.670	159.090	161.450	162.960	164.140	165.300	281,29	285,77	290,95	295,95	306,94	328,83	350,80	373,50	397,30
B.E.27	28,6	121.000	132.270	142.340	153.570	163.090	165.470	167.150	168.380	169.600	291,09	296,17	301,85	307,35	319,24	342,03	364,50	388,00	412,60
B.E.28	29,7	124.080	135.550	146.400	158.300	167.900	170.310	172.000	173.250	174.510	302,19	307,47	317,95	316,95	329,64	353,33	376,80	401,20	426,70
B.E.29	30,8	127.140	138.970	150.710	162.620	172.230	174.650	176.370	177.630	178.910	312,29	317,44	320,77	326,73	340,34	365,03	389,50	414,90	441,30
B.E.30	31,9	130.970	143.270	155.030	166.970	176.590	179.030	180.780	182.060	183.360	321,97	326,75	331,17	338,03	352,64	378,23	403,60	430,00	457,30
B.E.31	33,0	134.440	146.830	158.660	170.650	180.340	182.850	184.680	186.020	187.390	332,37	338,05	343,77	350,83	366,34	393,33	418,70	445,80	473,80
B.E.32	34,1	138.400	151.000	162.890	174.950	184.690	187.240	189.770	190.480	191.900	340,65	346,88	352,87	361,43	377,74	405,63	431,80	459,80	488,60
B.E.33	35,2	141.770	155.040	167.620	179.780	189.740	192.340	194.320	195.750	197.230	347,23	353,30	359,28	368,68	385,67	414,45	441,42	470,30	500,00
B.E.34	36,3	144.770	158.600	171.360	183.990	194.790	197.740	199.800	201.300	202.830	355,70	361,34	367,89	377,26	393,74	422,97	450,85	480,60	511,20
B.E.35	37,4	148.060	162.090	175.020	187.980	199.360	202.390	204.530	206.100	207.710	364,52	370,62	377,75	387,24	403,39	433,49	462,15	492,70	524,00
Hansweert	38,5	150.880	165.060	178.270	191.660	203.710	206.210	208.390	210.030	211.710	375,02	381,62	388,75	397,94	414,89	445,79	475,25	506,50	539,00
B.E.37	39,6	153.850	168.460	181.760	195.220	206.720	209.860	212.080	213.770	215.490	382,82	389,10	397,02	407,05	424,89	456,69	487,05	519,10	552,40
B.E.38	40,7	157.050	171.760	185.130	198.650	210.180	213.360	215.600	217.340	219.110	390,04	397,10	405,84	416,70	435,49	468,09	499,35	532,20	566,40
B.E.39	41,8	159.790	174.650	188.060	201.600	213.160	216.370	218.620	220.410	222.210	398,40	406,01	415,64	427,30	447,09	480,59	512,65	546,40	581,50
B.E.40	42,9	162.360	177.570	191.060	204.620	216.200	219.430	221.750	223.560	225.390	407,22	414,73	425,14	437,70	458,39	493,09	525,85	560,50	596,30
B.E.41	44,0	165.040	180.390	194.020	207.750	219.770	223.060	225.430	227.290	229.170	414,22	422,40	433,41	446,50	467,04	502,59	536,25	571,70	608,30
B.E.42	45,1	167.890	183.430	197.240	211.350	223.920	227.420	229.900	231.790	233.680	419,45	428,23	439,89	453,23	473,85	510,04	544,52	580,95	618,50
B.E.43	46,2	170.540	186.510	200.830	215.440	228.330	231.940	234.460	236.380	238.320	425,37	434,20	445,96	459,50	480,64	517,75	553,17	590,52	629,00
B.E.44	47,3	173.180	189.700	204.670	219.450	232.520	236.490	239.130	241.170	243.110	431,22	439,96	451,66	465,89	487,76	525,27	561,49	599,55	639,10
B.E.45	48,4	175.980	193.080	208.690	224.020	237.240	241.280	244.010	246.040	248.170	436,47	445,24	457,74	471,64	494,38	532,82	569,91	608,87	649,30
B.E.46	49,5	178.070	195.900	212.070	228.150	242.340	246.400	249.260	251.390	253.570	441,20	449,61	461,71	476,26	499,02	538,44	576,38	616,17	657,43

TABLEAU B₂

Données générales

ANNEXE 33

Profils	Cum. km.	Σ B ₀	Σ B ₁	Σ B ₂	Σ B ₃	Σ B ₄	Σ B ₅	Σ B ₆	Σ B ₇	Σ B ₈	Σ H ₀	Σ H ₁	Σ H ₂	Σ H ₃	Σ H ₄	Σ H ₅	Σ H ₆	Σ H ₇	Σ H ₈
B.E.47	50,6	179.820	178.640	216.070	232.670	247.460	252.000	255.060	257.310	259.590	447,32	454,28	465,75	480,76	503,93	543,92	582,65	623,32	665,44
B.E.48	51,7	182.400	207.660	219.730	236.970	252.580	258.530	261.700	264.020	266.380	451,92	459,15	470,68	485,90	509,20	548,94	588,59	630,20	673,24
B.E.49	52,8	183.890	203.280	221.780	239.860	257.910	265.640	268.900	271.320	273.880	459,46	467,03	477,81	491,86	513,20	553,02	593,61	636,13	680,10
B.E.50	53,9	185.490	205.060	224.180	243.180	263.400	272.750	276.070	278.540	281.140	467,07	474,81	484,45	497,22	517,42	556,93	598,48	641,96	686,88
B.E.51	55,0	187.460	207.050	226.210	245.580	267.850	279.510	282.910	285.440	288.100	472,30	480,98	491,51	504,12	521,83	560,57	603,08	647,49	693,35
Bath	56,1	189.620	209.390	228.800	248.220	270.550	285.540	289.030	291.660	294.410	476,83	486,11	497,09	510,50	529,16	564,45	607,89	653,21	700,00
B.E.53	57,2	192.040	212.050	231.660	252.760	275.700	291.010	296.580	299.320	302.190	481,85	491,62	502,56	515,23	534,13	570,07	612,97	659,20	706,89
B.E.54	58,3	193.680	4.040	4.070	5.240	278.980	295.690	302.540	305.400	8.630	488,42	497,95	508,73	522,23	540,35	575,26	617,98	664,99	713,46
B.E.55	59,4	195.150	5.590	5.640	6.900	280.860	298.930	5.900	308.810	312.090	494,02	504,39	516,08	530,17	548,26	580,54	624,08	671,99	721,36
B.E.56	60,5	196.086	6.760	6.900	8.260	2.300	301.460	9.610	312.630	6.030	500,39	510,37	522,56	537,17	555,83	585,65	628,55	677,31	727,51
B.E.57	61,6	197.106	7.830	8.020	9.570	3.810	2.780	311.580	314.800	8.430	505,74	516,42	529,28	543,90	562,59	592,52	635,47	684,51	735,04
B.E.58	62,7	198.246	9.050	9.300	260.900	5.190	4.620	3.030	6.330	9.980	509,68	521,08	534,70	550,09	569,54	600,12	644,00	693,74	744,99
B.E.59	63,8	199.118	220.028	240.350	1.990	6.350	5.830	4.300	7.670	321.380	514,06	525,93	540,17	556,32	576,42	607,74	652,21	702,54	754,36
B.E.60	64,9	199.980	0.959	1.310	2.988	7.420	6.940	5.470	8.890	2.660	519,91	532,30	547,33	564,19	584,73	616,77	661,76	712,64	764,96
B.E.61	66,0	200.696	1.829	2.218	3.998	8.480	8.060	6.650	320.740	3.970	526,46	538,69	554,41	571,44	593,72	625,42	670,92	722,34	775,16
E. 1	67,2	1.421	2.764	3.205	5.038	9.580	9.210	7.850	1.400	5.290	532,78	544,45	560,86	578,53	600,41	633,73	679,84	731,84	785,26
Lillo	68,2	2.221	3.604	4.086	5.956	290.534	310.200	8.880	2.460	6.390	539,78	552,07	569,10	587,41	609,89	643,73	690,54	743,14	797,16
E. 3	69,3	2.984	4.404	4.929	6.826	1.431	1.125	9.835	3.440	7.400	547,15	560,09	577,66	596,71	619,89	654,43	701,84	755,24	809,96
E. 4	70,4	3.647	5.117	5.679	7.614	2.256	1.988	320.735	4.378	8.375	554,28	567,69	585,84	605,49	629,24	664,38	712,34	766,34	821,56
E. 5	71,7	4.492	5.997	6.594	8.561	3.236	2.998	1.775	5.448	9.475	559,34	573,54	592,42	612,81	637,26	673,10	721,79	776,44	832,36
E. 6	72,8	5.087	6.650	7.279	9.278	3.986	3.781	2.590	6.296	330.355	564,79	579,51	599,07	620,16	645,26	681,75	731,09	786,34	842,86
E. 7	74,0	5.923	7.545	8.233	270.288	5.056	4.914	3.780	7.536	1.665	570,67	585,98	606,10	627,76	653,43	690,47	740,34	796,74	853,76
E. 8	75,2	6.671	8.250	8.959	1.038	5.826	5.704	4.595	8.372	2.523	577,74	593,85	614,74	637,13	668,53	701,27	751,84	808,34	865,96
E. 9	76,3	7.153	8.815	9.544	1.644	6.531	6.440	5.339	9.136	3.307	584,97	601,68	623,32	646,38	672,40	710,75	762,19	819,44	877,76
E. 10	77,6	7.697	9.395	250.189	2.313	7.225	7.158	6.081	9.904	4.097	571,39	608,73	630,60	654,38	681,09	720,15	773,29	830,74	889,16
E. 11	78,7	8.237	9.997	0.839	2.988	7.925	7.883	6.831	330.679	4.897	577,46	615,12	637,46	661,96	689,36	729,09	782,94	840,44	900,16
E. 12	79,9	8.710	230.497	1.367	3.543	8.506	8.491	7.466	1.369	5.587	584,35	622,59	645,53	670,64	698,60	738,89	793,29	851,34	911,56
E. 13	80,9	9.090	0.907	1.801	4.002	8.989	8.997	7.998	1.924	6.167	592,29	630,92	654,37	679,97	708,44	749,19	804,09	862,74	923,36
Anvers	81,8	9.550	1.381	2.289	4.504	9.504	9.527	8.541	2.481	6.737	601,87	641,52	665,37	691,57	720,74	762,09	817,79	877,04	938,26
E. 15	82,7	9.935	1.775	2.690	4.914	9.921	9.953	8.974	2.924	7.187	609,03	649,50	674,20	701,20	731,14	773,29	829,79	889,74	953,56
E. 16	83,7	210.265	2.117	3.031	5.262	300.274	320.317	9.338	3.294	7.562	617,83	659,15	684,70	712,60	743,34	786,19	843,59	904,34	964,66
E. 17	84,8	0.623	2.504	3.464	5.725	0.758	0.809	9.848	3.818	8.099	624,08	665,79	691,60	720,10	751,51	795,09	853,26	914,74	975,26
E. 18	85,8	1.068	2.969	3.959	6.245	1.293	1.359	330.413	4.398	8.694	628,76	671,23	697,69	726,87	759,08	803,42	852,36	924,60	985,86
E. 19	86,8	1.468	3.379	4.389	6.681	1.737	1.809	0.869	4.861	9.164	634,87	678,16	705,29	735,34	768,40	813,62	863,36	936,40	998,46
E. 20	87,8	1.788	3.704	4.723	7.020	2.081	2.158	1.223	5.220	9.529	641,50	685,68	713,59	744,51	778,40	824,52	875,06	948,90	1011,76
E. 21	88,9	2.140	4.070	5.119	7.447	2.540	2.649	1.746	5.775	340.174	646,54	691,47	719,97	751,41	785,80	832,42	883,46	957,78	21,76
E. 22	90,2	2.528	4.475	5.554	7.907	3.027	3.164	2.290	6.345	0.717	652,27	697,94	726,97	759,00	793,93	841,10	892,66	967,53	31,36
E. 23	91,2	2.918	4.873	5.985	8.358	3.499	3.657	2.804	6.879	1.272	658,29	704,62	734,28	766,94	802,48	850,27	902,42	977,93	42,26
E. 24	92,2	3.253	5.239	6.363	8.758	3.920	4.099	3.268	7.365	1.780	665,11	711,99	742,20	775,37	811,45	859,74	912,42	988,43	53,36
E. 25	93,2	3.566	5.569	6.717	9.124	4.304	4.501	3.687	7.802	2.235	671,30	718,81	749,63	783,37	820,05	869,01	922,25	998,83	64,36
E. 26	94,2	3.866	5.883	7.040	9.467	4.662	4.672	4.073	8.202	2.650	677,11	725,33	756,83	791,25	828,57	878,18	932,05	1009,23	75,36
E. 27	95,3	4.131	6.167	7.342	9.789	5.004	5.232	4.452	8.401	3.067	682,33	731,16	763,24	798,23	836,11	886,31	940,74	18,46	85,16
Hingene	96,8	4.441	6.512	7.723	280.240	5.476	5.748	5.012	9.006	3.717	687,02	736,30	768,82	803,85	842,44	893,04	947,91	26,06	93,21
E. 29	97,8	4.741	6.828	8.065	0.644	5.878	6.181	5.475	9.499	4.240	690,00	741,10	773,31	808,93	848,11	899,25	954,68	33,41	1101,09
E. 30	98,6	5.010	7.123	8.385	0.960	6.249	6.579	5.897	9.948	4.715	692,73	744,54	777,46	813,73	853,56	905,31	961,53	40,67	8,92
E. 31	99,4	5.340	7.477	8.779	1.392	6.722	7.090	6.448	340.538	5.345	696,58	749,08	782,49	819,26	859,58	911,83	968,38	48,17	16,94
E. 32	100,0	5.615	7.852	9.247	1.905	7.280	7.695	7.096	1.233	6.085	699,34	751,78	785,60	823,06	864,03	916,91	974,06	54,45	23,80

TABLEAU B₃

Données générales

ANNEXE 34

Profils	Cum. km.	Σ B ₀	Σ B ₁	Σ B ₂	Σ B ₃	Σ B ₄	Σ B ₅	Σ B ₆	Σ B ₇	Σ B ₈	Σ H ₀	Σ H ₁	Σ H ₂	Σ H ₃	Σ H ₄	Σ H ₅	Σ H ₆	Σ H ₇	Σ H ₈
E. 33	100,9	215.806	238.127	259.597	282.293	307.694	328.739	337.566	341.728	346.670	704,75	756,36	790,08	828,05	869,46	923,13	980,93	1061,96	1137,82
E. 34	101,8	216.001	340	9.855	603	308.058	555	338.036	342.251	347.185	709,79	761,94	795,60	833,53	875,06	928,96	987,01	68,39	38,62
E. 35	102,6	271	636	260.178	954	438	963	471	715	678	713,35	766,14	800,38	838,89	880,98	935,43	994,04	75,97	46,71
E. 36	103,3	446	851	459	283.262	772	329.323	858	343.127	348.178	718,60	771,22	805,21	844,26	886,88	941,86	1001,01	83,45	54,69
E. 37	104,2	675	239.083	779	633	309.784	776	339.353	664	696	725,05	776,01	809,46	848,97	892,06	947,51	07,14	90,08	61,82
E. 38	105,0	847	325	261.044	922	497	330.772	773	344.048	349.104	728,46	780,14	814,78	854,26	897,89	953,89	14,07	97,55	69,82
E. 39	105,9	217.047	547	282	284.183	781	418	340.042	399	479	731,80	784,17	818,78	859,44	903,61	960,15	20,85	1104,88	77,66
E. 40	106,7	246	755	513	432	310.049	703	346	721	819	735,16	788,37	823,73	865,26	910,37	967,95	29,13	13,69	86,96
Tielrode	107,6	481	240.007	775	717	344	331.075	674	345.065	350.179	740,78	794,72	830,70	872,80	918,47	976,62	38,34	23,45	97,26
E. 42	108,3	627	171	965	921	564	243	909	307	429	744,78	799,09	835,53	878,13	924,54	983,40	45,96	31,80	1206,35
E. 43	109,1	324	379	262.209	285.200	868	573	347.264	687	834	748,20	803,14	840,05	883,00	929,96	989,32	52,44	38,82	13,90
E. 44	109,7	218.072	547	487	488	311.767	883	584	346.078	351.176	750,16	805,93	843,72	887,52	935,29	995,44	59,35	46,49	22,29
E. 45	110,4	183	781	656	683	392	332.133	859	378	507	754,13	810,63	848,33	892,46	940,50	1001,71	65,41	53,01	29,27
E. 46	111,2	370	995	896	949	684	452	342.204	689	899	756,93	813,47	851,81	896,53	945,15	06,33	71,20	59,35	36,15
E. 47	111,8	551	241.195	263.176	286.189	940	727	488	347.001	352.229	759,84	817,06	856,02	901,35	950,63	12,40	77,84	66,85	44,22
E. 48	112,6	670	327	260	344	312.106	904	677	201	439	763,48	821,26	860,86	906,82	956,68	19,02	85,03	74,63	52,60
E. 49	113,2	812	500	454	556	347	333.162	343.046	583	829	766,14	824,36	864,56	911,76	961,55	24,40	89,63	80,05	58,93
E. 50	113,7	989	694	660	774	570	403	298	847	353.104	768,73	827,70	868,65	916,01	967,12	30,63	96,56	87,65	67,23
E. 51	114,1	219.089	809	784	905	710	551	454	348.017	276	772,21	831,66	873,29	921,34	973,10	37,29	1103,81	95,53	75,70
E. 52	114,6	185,4	910	893	287.021	835	683	594	759	431	776,78	836,98	879,21	927,83	980,07	44,79	17,84	1204,08	84,75
E. 53	115,1	262,9	242.042	264.038	178	313.005	865	789	366	651	780,26	839,76	882,89	932,19	985,08	50,40	18,11	10,92	92,17
E. 54	115,7	437,9	228	232	379	213	334.079	344.009	590	886	781,70	842,28	886,17	936,26	990,00	56,16	24,68	18,26	1300,25
Buggenh.	116,3	525,4	320,5	332	487	328	201	739	728	354.031	786,15	847,47	891,88	942,58	996,87	63,60	32,62	26,74	09,29
E. 56	116,6	631,4	446,5	471	637	489	374	323	923	237	789,59	851,28	896,30	947,61	1002,52	69,87	39,45	34,76	17,27
E. 57	117,1	718,9	539,0	571	748	677	508	468	349.079	404	793,80	856,09	901,71	953,43	8,77	76,55	46,58	47,74	25,31
E. 58	117,5	800,4	637,5	683	880	763	680	660	297	636	797,05	859,88	905,73	957,75	13,45	81,63	52,08	47,57	31,69
E. 59	118,2	897,9	733,5	790,0	990,0	875,0	795,0	777,0	471,0	758	799,79	863,45	910,10	962,99	19,48	83,46	59,86	56,17	41,09
E. 60	118,5	956,7	794,8	857,5	288.063,8	953,8	880,0	867,1	507,3	860	805,22	869,67	916,69	969,95	26,96	96,34	63,29	65,00	50,34
E. 61	119,1	220.056,7	906,8	978,5	193,8	314.090,8	335.026,0	345.021,1	669,3	355.030	807,10	872,29	920,06	974,05	31,80	1107,87	74,52	71,88	57,87
E. 62	119,8	120,5	976,8	265.052,3	271,4	173,4	112,4	112,5	764,4	730	811,67	877,39	925,88	980,55	38,90	09,70	82,84	80,85	67,35
E. 63a.	120,1	209,4	243.071,9	154,3	330,4	288,4	233,4	239,5	898,4	270	815,34	881,79	930,90	986,24	45,24	16,68	90,48	89,10	76,20
E. 64	120,5	287,0	154,5	241,9	473,0	385,9	335,4	346,5	350.010,4	387	821,48	888,52	958,23	994,14	53,71	25,68	1200,11	99,30	87,00
E. 63b.	120,8	379,6	255,5	347,9	583,0	497,9	451,4	465,5	731,4	512	823,70	891,52	942,08	998,84	59,29	32,05	07,32	1307,37	95,83
E. 65	121,4	442,1	321,8	477,9	658,0	578,0	536,5	555,6	226,5	612	827,64	896,21	947,50	1004,89	65,95	39,29	15,73	75,75	1404,75
E. 63c.	121,9	520,9	406,9	506,8	751,8	675,5	638,5	661,6	337,5	727	830,28	899,63	951,75	9,89	71,66	45,77	22,35	23,63	13,36
E. 66	122,5	607,3	499,5	604,3	855,8	785,5	754,5	783,6	466,5	862	832,66	902,81	955,75	14,62	77,10	51,89	29,74	31,07	21,41
E. 67	123,1	678,5	575,8	684,3	939,6	873,0	845,8	878,6	565,3	964	838,02	908,78	962,45	21,99	85,14	60,57	38,44	40,99	31,81
E. 68	123,6	772,3	690,8	806,3	289.065,6	315.003,0	979,8	346.075,6	706,3	356.109	839,77	910,64	965,18	25,62	89,66	65,94	44,61	48,01	39,59
E. 69	124,0	873,3	796,8	916,3	777,6	118,0	336.096,8	135,6	828,6	234	847,60	913,93	969,35	30,68	95,61	72,76	52,26	56,51	48,94
E. 70	124,6	939,6	866,8	990,1	257,6	203,7	188,1	231,9	930,6	347	846,44	919,48	975,58	37,38	1102,90	80,56	60,62	65,29	58,29
E. 71	125,0	221.027,1	960,6	266.087,6	358,6	308,7	297,1	343,9	351.046,6	467	848,90	922,76	979,70	42,33	8,67	87,07	67,94	73,34	67,04
E. 72	125,5	098,3	244.050,6	193,6	474,6	433,1	432,1	487,9	200,6	623	851,65	925,83	983,24	46,51	12,52	92,55	74,04	80,01	74,32
E. 73	126,1	118,3	146,9	294,6	584,6	550,1	558,1	621,9	342,6	773	853,50	928,51	986,77	50,72	17,42	98,07	80,21	86,77	81,74
E. 74	126,6	253,3	220,7	375,9	672,1	642,6	656,9	725,9	452,6	888	857,18	932,68	991,62	56,18	23,55	1204,77	87,57	94,68	90,27
Termonde	127,2	337,1	308,2	464,7	763,4	735,1	751,9	822,2	551,4	988	860,06	936,42	996,29	61,73	30,02	12,04	95,72	1403,61	1500,07
E. 76	127,7	475,9	395,7	556,0	858,4	833,9	853,9	928,2	667,4	357.102,0	861,37	938,52	999,77	65,54	34,65	17,46	1301,86	10,61	07,81
E. 77	128,2	480,9	475,7	642,3	945,9	922,7	943,9	347.079,5	753,9	795,8	863,20	940,95	1002,39	69,72	39,75	23,49	08,79	18,44	16,53
E. 78	128,7	545,9	546,9	723,6	290.034,0	316.074,0	337.038,3	717,0	854,9	299,8	868,26	946,53	8,22	76,07	46,87	31,36	17,39	27,76	26,49
E. 79	129,0	598,4	604,4	784,9	099,0	082,8	110,8	193,3	934,9	383,6	872,98	951,80	14,14	82,62	54,05	39,76	25,79	36,73	36,02
E. 80	129,5	673,4	686,9	876,2	197,1	184,8	217,8	304,3	352.050,9	503,6	873,94	953,62	16,73	86,02	58,28	44,22	37,62	43,31	43,34
E. 81	129,9	732,2	750,7	945,0	267,7	257,3	292,2	380,6	129,0	583,6	877,40	957,78	21,58	91,73	64,82	51,57	39,77	52,25	53,06
E. 82	130,2	787,2	810,7	267.013,8	345,2	341,1	382,2	476,9	231,0	357.692,6	880,52	961,64	25,92	96,56	70,29	57,64	46,40	59,45	60,81

TABLEAU B4

Données générales

ANNEXE 35

Profils	Cum. Km.	Σ B ₀	Σ B ₁	Σ B ₂	Σ B ₃	Σ B ₄	Σ B ₅	Σ B ₆	Σ B ₇	Σ B ₈	Σ H ₀	Σ H ₁	Σ H ₂	Σ H ₃	Σ H ₄	Σ H ₅	Σ H ₆	Σ H ₇	Σ H ₈
E. 83	130,5	221.839,7	244.869,5	267.077,6	290.474,0	316.474,9	337.461,0	347.560,7	352.379,8	357.786,4	884,59	966,21	1031,57	1102,23	1176,51	1264,32	1353,67	1467,26	1569,18
E. 84	130,9	896,0	938,3	152,6	492,7	496,2	545,4	648,2	410,4	880,2	887,19	969,28	34,85	06,88	81,93	70,52	60,63	74,96	77,61
E. 85	131,3	959,8	245.007,1	223,2	563,9	569,3	619,8	723,8	487,3	958,3	888,84	971,75	38,26	17,23	27,20	76,70	67,71	82,89	86,41
E. 86	131,8	220.029,8	087,1	308,9	653,9	663,7	718,6	826,8	594,3	358.070,3	889,28	973,10	40,50	14,34	97,15	81,45	73,23	89,17	93,41
E. 87	132,3	081,1	155,9	392,0	740,2	753,1	811,1	922,4	693,7	172,3	890,42	974,84	42,98	17,87	95,68	86,95	79,54	96,27	1.601,25
E. 88	132,8	174,4	225,9	465,8	817,1	833,7	894,2	348.008,7	782,5	264,8	891,67	977,00	46,02	27,90	1200,55	92,62	86,00	1.503,47	09,20
E. 89	133,3	213,7	297,1	540,8	894,6	913,1	976,6	093,7	810,0	354,8	894,27	980,38	50,14	26,94	06,40	99,28	93,44	11,69	18,17
E. 90	133,8	278,7	368,3	615,8	972,7	994,4	338.061,1	181,2	960,6	448,6	895,26	982,24	52,87	30,54	10,83	1304,55	99,50	18,52	25,75
E. 91	134,3	341,2	442,1	695,8	291.058,3	317.085,7	158,0	283,2	353.068,6	562,6	896,29	984,04	55,49	33,94	15,00	09,45	1405,10	24,80	32,69
E. 92	134,8	381,2	495,9	763,3	131,4	164,5	242,4	373,2	164,2	663,6	898,53	986,58	58,43	37,57	19,37	14,48	10,88	31,21	39,72
E. 93	135,3	422,5	548,4	825,8	197,0	233,3	314,2	448,2	244,2	697,4	899,89	988,50	60,99	40,99	23,63	19,53	16,70	37,63	46,19
E. 94	135,8	477,5	615,9	900,8	273,3	310,8	393,0	528,2	333,0	794,3	900,94	990,38	63,57	44,51	28,08	24,97	22,98	44,25	53,20
E. 95	136,3	536,3	687,1	975,8	350,8	390,8	475,5	613,2	420,5	884,3	901,54	997,75	65,94	47,79	32,25	29,94	28,86	50,94	60,69
E. 96	136,8	582,6	742,1	268.039,6	416,4	458,3	544,9	684,4	493,6	959,3	903,05	993,97	68,79	51,55	36,88	35,42	35,18	58,10	68,63
E. 97	137,3	627,6	798,4	102,7	481,4	525,2	613,7	755,0	566,1	359.033,7	904,07	995,69	71,27	54,93	47,15	40,55	47,16	64,92	76,28
E. 98	137,8	680,7	855,9	165,2	547,0	594,0	685,5	830,0	648,6	123,7	905,99	998,41	74,73	59,23	46,24	46,53	47,78	71,90	83,62
E. 99	138,3	738,6	919,7	230,2	614,5	664,0	758,0	905,0	737,1	213,7	906,82	1000,11	77,54	62,95	50,80	51,81	53,97	78,48	90,62
E. 100	138,8	786,1	973,5	297,5	679,5	732,8	830,5	981,3	814,2	303,7	908,20	02,30	80,42	66,65	55,28	57,03	59,97	84,89	97,50
E. 101	139,4	831,7	246.027,3	349,0	740,1	796,6	896,1	349.051,3	890,5	386,2	909,30	04,23	83,21	70,29	59,73	62,25	65,84	91,34	1704,42
E. 102	139,9	874,9	077,3	406,5	800,7	860,4	967,7	121,3	967,4	470,0	910,72	06,42	86,07	73,97	64,20	67,47	71,88	97,74	11,24
E. 103	140,4	922,4	132,3	466,5	863,8	926,7	339.031,7	193,8	354.044,9	551,9	911,38	07,97	88,42	77,20	68,25	72,37	77,49	1.603,96	18,11
E. 104	140,9	957,4	176,1	517,8	918,2	984,2	097,7	257,6	116,7	631,9	913,68	10,67	97,71	81,29	73,72	77,92	83,79	10,49	24,92
E. 105	141,4	997,2	226,1	574,1	977,6	318.046,7	157,3	326,4	197,7	713,8	915,19	12,54	94,34	84,75	77,40	82,97	89,60	16,77	31,64
E. 106	141,9	223.032,5	279,9	631,6	292.038,2	170,5	224,2	396,4	268,6	797,6	915,90	14,02	96,69	87,95	81,40	87,75	95,15	22,77	38,11
E. 107	142,4	068,8	319,9	676,6	086,3	161,8	278,6	453,9	337,4	877,6	918,78	17,53	1100,71	92,65	86,74	93,72	1501,78	29,24	44,59
E. 108	142,9	108,8	372,4	734,7	147,6	226,2	346,7	524,5	414,3	960,7	919,22	18,71	02,73	95,56	90,50	98,30	07,72	35,12	50,99
E. 109	143,4	142,6	419,9	797,2	271,4	297,2	412,4	592,0	487,4	360.039,5	920,21	20,25	04,78	98,56	94,44	1.403,14	12,86	47,38	57,77
E. 110	143,9	177,6	463,7	851,0	268,3	351,2	475,5	658,3	562,4	123,3	921,67	22,30	07,34	1.207,94	98,67	08,07	18,54	47,29	64,18
E. 111	144,4	218,9	511,2	906,0	325,8	477,2	538,0	723,3	633,0	199,6	922,73	24,72	09,86	05,36	1.302,89	13,78	24,42	53,66	77,04
E. 112	144,9	251,4	553,7	957,9	380,2	468,1	597,4	785,2	707,1	274,0	924,04	26,04	12,32	08,70	07,06	18,14	30,15	59,84	77,66
E. 113	145,4	282,7	605,0	269.014,2	438,3	528,1	659,3	849,0	764,9	347,8	924,40	27,72	14,26	17,57	10,82	22,76	35,62	65,87	84,27
E. 114	145,9	317,7	652,5	066,7	493,9	586,9	721,2	914,0	834,9	422,8	924,71	28,21	16,19	14,32	14,36	27,06	40,69	71,59	90,53
E. 115	146,5	350,2	697,5	178,0	547,7	643,2	780,0	975,3	900,5	493,4	925,37	29,63	18,37	17,39	18,33	31,84	46,26	77,76	97,28
E. 116	147,0	379,0	732,5	160,5	597,7	695,7	835,0	350.052,8	964,9	564,6	927,23	31,08	21,31	20,83	22,58	36,89	52,08	83,92	1.803,76
E. 117	147,5	415,3	775,0	209,3	649,0	749,5	897,3	117,6	355.029,9	635,8	927,84	32,43	23,39	23,76	26,34	47,47	57,43	89,70	09,99
E. 118	148,0	452,8	820,0	261,8	704,0	807,0	951,3	174,7	097,4	708,9	928,38	33,79	25,50	26,76	30,21	46,17	62,93	95,75	16,55
E. 119	148,5	480,3	858,8	317,8	756,5	862,0	340.008,8	234,7	162,4	778,9	928,93	35,03	27,35	29,49	33,79	50,56	68,12	1.707,50	22,85
E. 120	149,0	510,3	896,3	356,8	804,0	912,0	067,3	289,1	224,9	848,9	929,32	36,26	29,29	32,37	37,45	55,04	73,32	07,03	28,73
E. 121	149,5	510,3	936,3	403,1	854,0	965,8	178,8	350,4	290,5	918,9	929,32	37,79	31,06	34,92	40,83	59,75	78,14	12,57	34,82
E. 122	150,0	535,3	970,1	445,6	898,4	319.012,0	166,9	400,4	342,4	972,7	930,32	38,87	33,28	38,06	44,86	64,03	83,37	18,94	42,02
Wetteren	150,1																		
E. 123	151,1	555,3	247.000,1	484,4	942,2	060,8	220,7	459,2	406,2	361.047,5	930,87	39,87	34,96	40,52	48,02	69,84	88,26	24,00	47,67
E. 124	152,1	576,6	027,6	521,9	984,1	707,1	271,3	514,2	465,6	105,3	932,02	41,62	37,12	43,41	51,60	72,05	93,09	29,43	53,70
E. 125	153,1	576,6	058,9	568,2	293.032,9	158,4	326,3	571,7	525,6	168,4	932,02	42,02	38,26	45,41	54,43	75,62	97,47	34,67	59,61
E. 126	154,1	576,6	087,7	607,0	075,4	203,4	375,1	623,0	579,4	225,3	932,02	42,77	39,72	47,69	57,54	79,45	1.602,08	39,98	65,79
E. 127	155,1	576,6	112,7	643,3	175,4	247,2	422,6	674,3	635,0	285,3	932,02	43,58	41,77	50,03	60,69	83,34	06,81	45,37	71,67
E. 128	156,1	599,1	142,7	680,2	154,8	289,7	467,0	721,2	684,4	337,2	932,85	45,10	43,34	53,06	64,53	87,95	12,74	51,34	77,94
E. 129	157,1	599,1	167,7	715,8	194,2	332,2	573,9	777,8	738,8	395,3	932,85	45,77	44,63	55,77	67,40	97,55	16,42	56,34	83,64
E. 130	158,1	599,1	184,0	750,2	232,3	374,1	549,5	821,2	797,9	452,2	932,85	46,22	45,70	57,77	70,47	95,38	20,92	67,52	89,51
E. 131	159,1	599,1	202,8	779,0	264,8	470,4	590,8	867,5	843,2	508,5	932,85	46,54	46,76	58,98	73,07	98,67	24,80	66,78	94,53
E. 132	160,1	599,1	216,6	806,5	296,7	446,7	632,7	913,8	894,5	564,8	932,85	46,82	47,72	60,78	75,58	1501,83	28,57	70,57	99,45
E. 133	161,1	599,1	229,7	825,3	327,7	478,0	669,6	957,6	944,5	621,7	932,85	47,02	48,98	63,07	78,60	05,51	32,65	75,07	1904,40
E. 134	162,1	599,1	237,8	850,3	358,6	519,3	714,6	351.006,4	996,5	677,4	932,85	47,20	49,70	64,39	80,79	08,48	36,36	79,45	09,57
E. 135	163,2	599,1	257,6	876,6	392,4	555,6	753,4	047,7	356.045,3	733,7	932,85	47,74	51,70	66,40	83,65	12,73	40,76	84,70	14,53
E. 136	164,1	670,4	273,5	909,1	428,0	594,4	795,3	092,7	095,3	788,7	933,09	48,67	52,49	68,64	86,67	15,89	45,22	89,07	19,99
Gentbrugge	164,8	223.670,4	247.298,5	269.940,4	293.463,0	319.633,2	340.837,8	357.139,0	356.745,9	361.843,7	933,09	1049,32	1.153,96	1.270,92	1.389,70	1.519,63	1.649,59	1.794,04	1.925,51

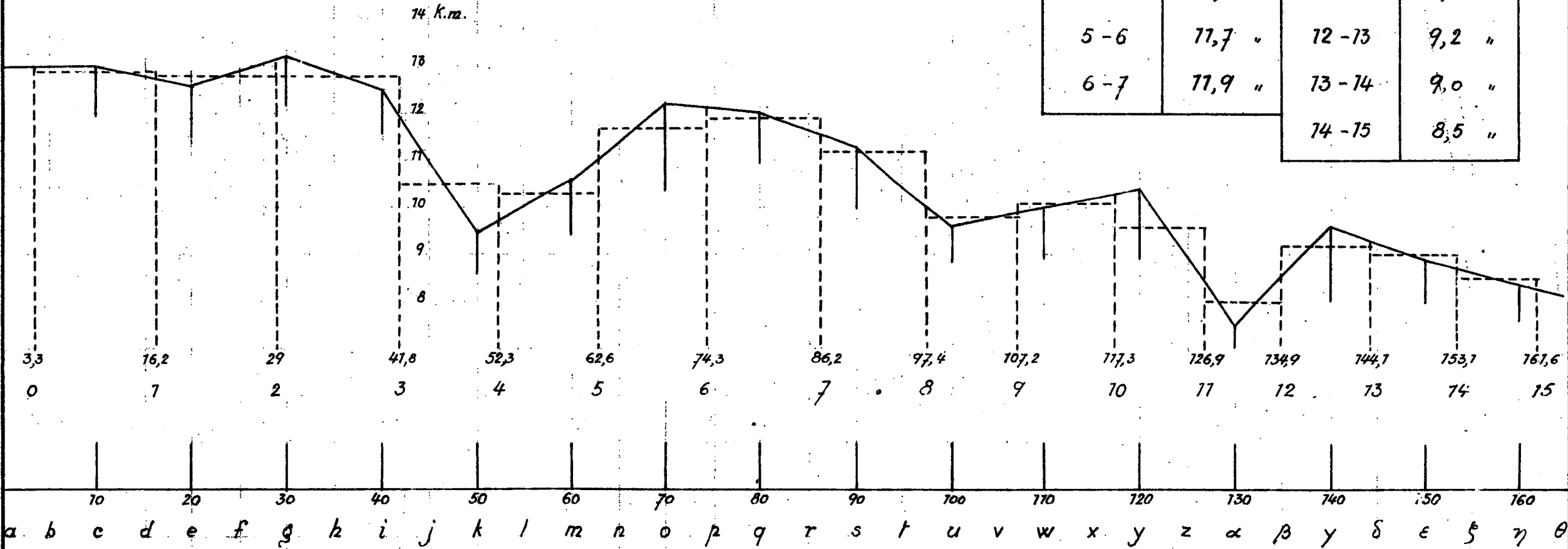
Section	Profils	kms	Nbre de profils	ΣH_3	Diff.	H_3	Valeurs REGULAIRES	ΣH_4	Diff.	H_4	Valeurs REGULAIRES	ΣH_5	Diff.	H_5	Valeurs REGULAIRES	Cotes mi-marée	H corresp.	$\sqrt{H_5}$	$2L=1277\sqrt{H_5}$
a	B.E. 1	0	1	17,30				18,10									10,50	10,15	13 km.
b	" 6	5,5	5	95,90	18,60	15,70		95,40	77,30	15,50									
c	" 10	9,9	4	133,50	37,60	9,40	10,30	132,87	37,47	9,40	10,65					3,60	10,50	10,15	13 "
d	" 15	15,4	5	189,60	56,70	11,20		192,17	59,30	11,90									
e	" 20	20,9	5	243,50	53,90	10,80	9,50	249,17	57,00	11,40	10,30					3,62	10,00	9,90	12,6 "
f	" 24	25,3	4	276,53	33,03	8,27		285,72	36,55	9,14									
g	" 28	29,7	4	316,95	40,42	10,10	10,20	329,64	43,92	11,00	11,10					3,64	10,80	10,30	13,2 "
h	" 33	35,2	5	368,68	57,73	10,30		385,67	56,03	11,20									
i	" 38	40,7	5	416,70	48,18	9,60	9,35	435,49	49,82	10,00	9,80					3,70	9,70	9,80	12,5 "
j	" 42	45,1	4	453,23	36,53	9,70		473,85	38,36	9,60									
k	" 46	49,5	4	476,26	23,03	5,80	5,70	499,02	26,17	6,50	5,55					3,78	5,60	7,42	9,5 "
l	" 51	55,0	5	504,12	27,86	5,60		527,83	22,87	4,60									
m	" 56	60,5	5	537,17	33,05	6,60	6,70	555,83	34,00	6,80	7,00					3,87	6,95	8,26	10,6 "
n	" 60	64,9	4	564,19	27,02	6,80		584,73	28,90	7,20									
o	E 4	70,4	5	605,49	47,30	8,30	8,10	629,24	44,51	8,90	9,35					3,93	9,25	9,52	12,2 "
p	" 8	75,2	4	637,13	31,64	7,90		668,53	39,29	9,80									
q	" 12	79,9	4	670,64	33,51	8,40	9,15	698,60	30,07	7,50	9,05					3,97	9,05	9,43	12,0 "
r	" 17	84,8	5	720,10	49,46	9,90		751,51	52,91	10,60									
s	" 22	90,2	5	759,00	38,90	7,80	7,80	793,93	42,42	8,50	8,45					4,06	8,50	9,13	11,7 "
t	" 27	95,3	5	798,23	39,23	7,80		836,11	42,18	8,40		886,31							
u	" 32	100	5	823,06	24,83	5,00	5,10	864,03	27,92	5,60	5,60	916,97	30,60	6,70	6,15	4,25	5,75	7,52	9,6 "
v	" 38	105	6	854,26	31,20	5,20		897,89	33,86	5,60		953,89	36,98	6,20					
w	" 44	109,7	6					935,29	37,40	6,20	5,85	995,44	47,55	6,90	6,50	4,54	6,20	7,80	10,0 "
x	" 53	115,1	9					985,08	49,79	5,50		1.050,40	54,96	6,70					
y	" 63a	120,1	10					1.045,24	60,76	6,00	6,15	1.116,68	66,28	6,60	6,80	4,92	6,75	8,14	10,4 "
z	" 71	125	10					1.108,67	63,43	6,30		1.187,09	70,47	7,00					
Section	Profils	kms	Nbre de profils	ΣH_5	Diff.	H_5	Valeurs REGULAIRES	ΣH_6	Diff.	H_6	Valeurs REGULAIRES	ΣH_7	Diff.	H_7	Valeurs REGULAIRES	Cotes mi-marée	H corresp.	$\sqrt{H_7}$	$2L=1277\sqrt{H_7}$
z	E 71	125	10	1.187,09				1.267,94											
α	" 87	129,9	10	1.251,57	64,48	6,40	6,05	1.339,77	71,83	7,20	6,85					5,32	6,30	5,87	7,5 km
β	" 92	134,8	17	1.314,48	62,97	5,70		1.410,88	71,17	6,50									
γ	" 102	139,9	10	1.367,47	52,99	5,30	5,20	1.471,88	67,00	6,70	5,95					5,64	5,70	7,48	9,6 "
δ	" 112	144,9	10	1.418,14	50,67	5,10		1.530,75	58,27	5,80									
ϵ	" 122	150	10	1.464,03	46,89	4,70	4,30	1.583,81	53,66	5,40	5,05					5,92	4,95	6,97	8,9 "
ζ	" 127	155,1	5	1.483,34	19,31	3,90		1.606,81	23,00	4,60		1.745,31							
η	" 132	160,7	5					1.628,57	21,76	4,35	4,30	1.770,57	25,20	5,05	4,90	6,24	4,45	6,60	8,4 "
θ	" 137	164,8	5					1.649,59	21,02	4,20		1.794,04	23,53	4,70					

Tableau résumant les longueurs des tronçons successifs

Tronçons	Longueurs	Tronçons	Longueurs
0 - 1	12,9 km	7 - 8	11,2 km
1 - 2	12,8 "	8 - 9	9,8 "
2 - 3	12,8 "	9 - 10	10,1 "
3 - 4	10,5 "	10 - 11	9,6 "
4 - 5	10,3 "	11 - 12	8,0 "
5 - 6	11,7 "	12 - 13	9,2 "
6 - 7	11,9 "	13 - 14	9,0 "
		14 - 15	8,5 "

Nous portons en ordonnées les longueurs 2 L en fonction des sections a, c, e, g, i, k, ... etc (traits continus). Ensuite, de proche en proche, à partir de Flessingue que nous prenons comme point 0, nous déterminons les longueurs des tronçons consécutifs par compensation de surface (traits pointillés).

Echelles : abscisse 1 c.m. = 5 km.
ordonnée 1 c.m. = 1 km.



Calcul des profondeurs et largeurs moyennes des divers tronçons

Kms	Tronçons	Profils	H ₀	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	H ₆	H ₇	H ₈	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈
161,6		E. 133		1.047,02	1.148,98	1.263,07	1.378,60	1.505,51	1.632,65	1.775,01	1.904,40		247.229	269.825	293.321	319.478	340.670	350.958	355.944	621.627
153,1		E. 125		1.042,02	1.138,26	1.245,41	1.354,63	1.475,62	1.597,47	1.734,61	1.859,61		247.059	269.563	293.033	319.158	340.326	350.572	355.526	621.768
		Diff.		5,00	10,72	18,66	23,97	29,89	35,18	40,40	44,79		170	257	288	320	344	386	478	453
	14-15	Hou B=D/8		0,62	1,34	2,30	3,00	3,70	4,40	5,10	5,60		21	32	36	40	43	48	52	57
144,1		E. 110		1.022,30	1.107,34	1.201,94	1.296,61	1.408,07	1.518,54	1.647,29	1.764,18		216.464	218.851	292.268	318.351	339.475	349.658	354.562	360.123
		Diff.		19,72	30,92	43,47	56,02	67,65	78,93	87,32	95,43		595	717	765	807	851	914	964	1.045
	13-14	D/15		1,30	2,10	2,90	3,70	4,50	5,20	5,80	6,40		40	43	51	54	57	61	64	70
134,9		E. 92		986,58	1.058,43	1.137,57	1.219,37	1.314,48	1.410,88	1.531,21	1.539,72		245.496	267.763	297.131	317.164	338.342	348.373	353.764	358.604
		Diff.		35,72	48,91	64,37	79,34	94,59	107,66	116,08	124,46		968	1.088	1.137	1.187	1.233	1.285	1.398	1.519
	12-13	D/18		2,00	2,70	3,60	4,40	5,20	6,00	6,50	6,90		54	60	63	66	68	71	78	84
126,4		E. 74		932,68	991,62	1.056,18	1.123,55	1.204,77	1.287,57	1.394,68	1.490,27		244.220	266.376	289.672	315.643	336.556	346.726	351.453	356.888
		Diff.		53,90	66,81	81,39	95,82	109,71	123,31	136,53	149,45		1.276	1.387	1.459	1.521	1.586	1.647	1.711	1.816
	11-12	D/18		3,00	3,70	4,50	5,30	6,10	6,80	7,60	8,30		71	77	81	84	88	91	95	101
117,3		E. 58	797,05	859,88	905,73	957,75	1.013,45	1.081,63	1.152,08	1.247,57	1.331,69	219.800	242.631	264.683	287.880	313.763	334.680	344.660	349.291	354.636
		Diff.		72,80	85,89	98,43	110,10	123,14	135,49	147,11	158,58		1.589	1.693	1.792	1.880	1.976	2.066	2.162	2.252
	10-11	D/18		4,00	4,80	5,50	6,10	6,80	7,50	8,20	8,80		88	94	99	104	110	115	120	125
107,2		E. 41	740,78	794,72	830,70	872,80	918,47	976,62	1.038,34	1.123,45	1.197,26	217.481	240.001	267.775	284.711	310.344	331.015	340.674	345.065	350.179
		Diff.		56,27	60,92	84,95	94,98	105,01	113,74	124,12	134,43		2.319	2.630	2.908	3.169	3.665	3.986	4.226	4.457
	9-10	D/17		3,30	3,80	5,00	5,60	6,20	6,70	7,30	7,90		136	155	171	186	201	216	234	262
97,4		E. 29	690,00	741,10	773,31	808,93	848,11	899,25	954,68	1.033,47	1.101,09	214.741	236.828	258.065	280.694	305.878	326.781	335.475	339.499	344.240
		Diff.		50,78	57,39	63,87	70,36	77,37	83,66	90,04	96,17		2.740	3.173	3.710	4.017	4.466	5.199	5.566	5.939
	8-9	D/12		4,20	4,50	5,30	5,90	6,40	7,00	7,50	8,00		228	264	309	334	402	433	463	494
86,2		E. 18	628,76	671,23	697,69	726,87	759,08	803,42	852,36	924,60	985,86	211.068	232.969	253.959	276.245	301.293	321.359	330.473	334.398	338.694
		Diff.		61,24	69,87	76,62	82,06	89,03	95,83	102,32	108,81		3.673	3.959	4.706	4.449	4.585	5.062	5.101	5.546
	7-8	D/11		5,60	6,30	7,00	7,50	8,10	9,30	9,90	10,50		334	360	373	404	417	438	463	505
74,3		E. 7	570,67	585,98	606,10	627,76	653,43	690,47	740,34	796,42	853,16	205.923	227.545	248.233	270.288	295.056	314.914	323.780	327.536	331.665
		Diff.		58,09	85,25	91,59	99,11	105,65	112,95	122,02	128,18		5.145	5.424	5.726	6.157	6.237	6.445	6.862	7.029
	6-7	D/11		5,30	7,80	8,30	9,00	9,60	10,30	11,10	12,10		468	493	521	560	567	586	603	640
62,6		B.E. 58	509,68	521,08	534,70	550,09	569,54	600,12	644,00	693,74	744,99	198.246	219.050	239.300	260.900	285.190	304.620	313.030	316.330	319.980
		Diff.		61,00	64,90	71,40	77,67	83,89	90,35	96,34	102,68		7.677	8.495	8.933	9.388	9.866	10.469	11.206	11.685
	5-6	D/10		6,10	6,50	7,10	7,70	8,40	9,00	9,60	10,80		768	850	893	939	987	1.047	1.121	1.168
52,3		B.E. 48	457,92	459,15	470,68	485,90	509,20	548,94	588,59	630,20	673,24	182.400	201.660	219.730	236.970	252.580	258.530	267.700	264.020	266.380
		Diff.		57,76	62,93	64,02	65,19	60,34	51,18	55,41	63,54		15.846	17.390	19.570	23.930	32.610	46.090	51.330	52.310
	4-5	D/10		5,80	6,30	6,40	6,50	6,00	5,10	5,50	6,40		1.580	1.740	1.960	2.390	3.260	4.610	5.130	5.360
41,8		B.E. 39	398,40	406,01	415,64	427,30	447,09	480,59	512,65	546,40	581,50	159.790	174.650	188.060	207.600	213.760	216.370	218.620	220.410	222.270
		Diff.		53,52	53,14	55,04	58,60	62,11	68,05	75,94	83,80		22.670	27.010	31.670	35.370	39.420	42.160	43.080	44.770
	3-4	D/11		5,95	5,90	6,10	6,50	6,90	7,60	8,40	9,30		2.510	3.000	3.520	3.920	4.380	4.780	4.850	4.900
29,0		B.E. 27	291,09	296,17	301,85	307,35	319,24	342,03	364,50	388,00	412,60	121.000	132.270	142.340	153.570	163.090	165.470	167.150	168.380	169.600
		Diff.		107,31	109,84	113,79	119,95	127,85	138,56	148,15	158,40		38.790	42.380	45.720	48.030	50.070	51.470	52.030	52.670
	2-3	D/12		8,90	9,10	9,50	10,00	10,60	11,50	12,30	13,20		3.230	3.530	3.810	4.000	4.170	4.250	4.330	4.380
16,2		B.E. 16	190,77	192,82	197,50	200,10	203,37	216,53	230,00	244,10	258,40	79.830	87.170	92.520	99.930	108.070	109.870	110.820	111.630	112.370
		Diff.		100,92	103,35	104,35	107,25	115,87	125,50	134,50	143,90		41.170	45.100	49.820	53.640	55.080	56.330	56.750	57.230
	1-2	D/11		9,20	9,40	9,50	9,70	10,50	11,40	12,20	13,20		3.740	4.100	4.530	4.880	5.000	5.050	5.120	5.200
3,3		B.E. 4	58,90	61,10	64,20	67,40	70,10	73,30	76,30	79,40	82,50	18.440	18.840	19.160	19.410	19.780	20.010	20.310	20.550	20.780
		Diff.		131,27	131,72	133,30	132,70	133,27	142,23	153,70	164,70		61.390	68.330	73.360	80.520	89.230	89.800	90.570	91.590
	0-1	D/12		10,90	11,00	11,10	11,00	11,10	11,90	12,80	13,70		5.170	5.700	6.170	6.710	7.430	7.500	7.550	7.650

Calcul des surlargeurs

Pour la marée moyenne nous avons pris comme surlargeurs les différences des largeurs totales et de celles obtenues en supposant la section d'écoulement parabolique, cette parabole étant déterminée par les dimensions H_0 et B_0 habituelles.

Nous ferons de même pour la marée-tempête.

Tronçons	Divers	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0-1	$H_{pn} = H_{p0} + n \times 0,665 \text{ m.}$	10,90	11,57	12,24	12,90	13,57	14,24	14,90	15,57	16,24
	$B_{pn} = B_{p0} \times \sqrt{H_{pn} / H_{p0}}$	5.110	5.260	5.410	5.550	5.690	5.830	5.960	6.100	6.230
	B	5.110	5.700	6.110	6.710	7.430	7.500	7.550	7.600	7.650
	$B - B_p$	0	440	700	1.160	1.740	1.670	1.590	1.500	1.420
1-2	H_{pn}	9,20	9,87	10,54	11,20	11,87	12,54	13,20	13,87	14,54
	B_{pn}	3.740	3.870	4.000	4.120	4.250	4.370	4.480	4.600	4.700
	B	3.740	4.100	4.530	4.880	5.000	5.050	5.120	5.150	5.200
	$B - B_p$	0	230	530	760	750	680	640	550	500
2-3	H_{pn}	8,90	9,57	10,24	10,90	11,57	12,24	12,90	13,57	14,24
	B_{pn}	3.230	3.350	3.470	3.580	3.680	3.790	3.890	3.980	4.090
	B	3.230	3.530	3.810	4.000	4.170	4.250	4.280	4.330	4.380
	$B - B_p$	0	180	340	420	490	460	390	350	290
3-4	H_{pn}	5,95	6,62	7,29	7,95	8,62	9,29	9,95	10,62	11,29
	B_{pn}	2.510	2.650	2.780	2.820	2.930	3.140	3.250	3.350	3.460
	B	2.510	3.000	3.520	3.920	4.380	4.680	4.780	4.850	4.900
	$B - B_p$	0	350	740	1.100	1.450	1.540	1.530	1.500	1.440
4-5	H_{pn}	5,80	6,47	7,14	7,80	8,47	9,14	9,80	10,47	11,14
	B_{pn}	1.580	1.670	1.750	1.830	1.910	1.990	2.050	2.120	2.190
	B	1.580	1.740	1.960	2.390	3.260	4.610	5.130	5.230	5.360
	$B - B_p$	0	70	210	560	1.350	2.620	3.080	3.710	3.170
5-6	H_{pn}	6,10	6,77	7,44	8,10	8,77	9,44	10,10	10,77	11,44
	B_{pn}	768	810	850	885	920	955	990	1.020	1.050
	B	768	850	893	939	987	1.047	1.075	1.121	1.168
	$B - B_p$	0	40	43	54	67	92	85	101	118
6-7	H_{pn}	5,28	5,95	6,61	7,28	7,94	8,61	9,27	9,93	10,60
	B_{pn}	468	496	524	552	571	594	618	641	665
	B	468	493	521	560	567	586	603	623	640
	$B - B_p$	0	-3	-3	8	-4	-8	-15	-18	-15

A partir du tronçon 5-6, les surlargeurs sont pratiquement nulles.

Marée-tempête

Calcul des coefficients α , b et c

On calcule a et b à partir de leurs formules respectives

$$b = \frac{BL}{T} \qquad \alpha = \frac{g B_p H_p T}{L}$$

Nous allons exposer pour chaque coefficient la façon de procéder, puis, pour éviter la répétition des termes B , H , BH , etc, nous résumerons les calculs en un seul tableau.

§ 1. Calcul des coefficients $b = \frac{BL}{T}$ aux points 1, 2, 3, etc.

avec B = largeur totale
 $2L$ = longueur du tronçon
 $2T$ = 1277 sec.

Pour le calcul de b , au point 3 par exemple, nous calculons tout d'abord la somme ($B_{2-3} + B_{3-4}$) et nous multiplions ensuite cette somme par

$$\bar{J} = \frac{1}{2} \frac{2L_{2-3} + 2L_{3-4}}{2 \times 2T}$$

où $2L_{2-3}$ = longueur du tronçon 2-3
 $2L_{3-4}$ = " " 3-4
 $2T$ = 1277 sec.

Dans le tableau final figureront donc

B	dans le compartiment	2-3	(pour chaque cote)
B	"	3-4	(")
$2L$	"	2-3	(colonne Divers)
$2L$	"	3-4	(")
\bar{J}	au point	3	(")
$2B = B_{2-3} + B_{3-4}$	"	3	(pour chaque cote)
$b = \bar{J}(B_{2-3} + B_{3-4})$	"	3	(")

b_1 fait exception à ce calcul : en effet ce coefficient est influencé par le Braakman. Des profils du modèle on déduit les surfaces suivantes;

Cote	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00
Surface du Braakman	1.530.000 m ²	3.300.000	5.700.000	10.000.000	13.400.000	14.000	14.400	15.000

Dans le tableau final figurera en plus, dans le compartiment 1 :

1° la majoration de $b = \frac{\text{Surf. Braakman}}{2T}$

2° b total

§ 2. Calcul des coefficients $a = \frac{g B_p H_p T}{L}$ pour les tronçons 0-1, 1-2, 2-3, etc.

avec B_p = largeur effective

H_p = profondeur effective

$2T$ = 1277 sec.

$2L$ = longueur du tronçon

Nous poserons $gT/L = \bar{\alpha}$ variable suivant les tronçons

Par exemple pour α_{2-3} figureront dans le tableau final

B_p	dans le compartiment 2-3 (pour chaque cote)
H_p	" (")
$\bar{\alpha} = gT/L$	" (colonne Divers)
a	" (pour chaque cote)

§ 3. Calcul des coefficients $c = \frac{\epsilon^2 B_p H_p^2}{2gT}$ pour les tronçons 0-1, 1-2, 2-3, etc.

Pour les tronçons 0-1 à 5-6 inclus, figureront dans le tableau final $B_p, H_p, B_p H_p, \epsilon$ et $c = \frac{\epsilon^2 B_p H_p^2}{2gT}$

Pour les tronçons 6-7 à 14-15 inclus, figureront dans le tableau final $B, H, B H, \epsilon/\sqrt{2gT}$ et c .

Préalablement il nous reste donc à calculer pour chaque tronçon $\left\{ \begin{array}{l} \text{soit } \epsilon \\ \text{soit } \epsilon/\sqrt{2gT} \end{array} \right.$

Pour ce faire nous recherchons, soit ϵ , soit $\epsilon/\sqrt{2gT}$, pour différentes hauteurs d'eau. Les valeurs inscrites dans le tableau final seront alors obtenues par interpolation. Nous partons de la formule $\epsilon = \frac{87}{1 + \gamma/\sqrt{H}}$

avec $\gamma = 1,80$ pour les tronçons 0-1 à 5-6; 1,50 pour les tronçons 6-7 à 7-8

2,60 " " 8-9 à 10-11; 1,60 " " 11-12 à 14-15

Tronçons	Divers	Hauteurs d'eau															
		2,00	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0-1 5-6 $\gamma = 1,80$	$1 + \gamma/\sqrt{H}$ ϵ					1,735 50,2	1,68 51,7	1,637 53,2	1,600 54,3	1,57 55,4	1,543 56,3	1,52 57,2	1,50 58	1,482 58,7	1,465 59,4	1,45 60	1,437 60,6
6-7 7-8 $\gamma = 1,50$	$1 + \gamma/\sqrt{H}$ $\epsilon/\sqrt{2gT}$					1,612 0,482	1,567 0,496	1,537 0,508	1,50 0,518	1,475 0,527	1,452 0,535	1,433 0,543					
8-9 10-11 $\gamma = 2,60$	$1 + \gamma/\sqrt{H}$ $\epsilon/\sqrt{2gT}$		2,50 0,311	2,30 0,338	2,16 0,360	2,06 0,377	1,98 0,392	1,92 0,404	1,87 0,415								
11-12 14-15 $\gamma = 1,60$	$1 + \gamma/\sqrt{H}$ $\epsilon/\sqrt{2gT}$	2,13 0,365	1,93 0,402	1,80 0,432	1,715 0,453	1,655 0,469	1,605 0,484	1,565 0,497	1,533 0,506								

Tableau résumant les calculs de a , b et c

Remarques préalables.

1. A partir du tronçon 6-7 $H_p = H$, $B_p = B$
2. Dans la colonne relative à la cote 1,00 (cote 2,00 quand les calculs pour la cote 1,00 ne se justifient pas), nous écrirons les nombres en vraie grandeur. Pour les autres colonnes, nous nous contenterons des 3 premiers chiffres de chaque nombre.
3. Les valeurs de a et b correspondent aux hauteurs d'eau écrites en m.
4. Pour le point 15, nous calculons b en supposant un tronçon fictif 15-16 = 8.500 km. de même largeur moyenne que le tronçon 14-15.

Tronçons	Divers		1	2	3	4	5	6	7	8
0-1	$2L=12.900$ $\bar{\alpha} = \frac{gT}{L}$ $= 0,97$ $y = 1,80$	B_p en m. H_p en m. B en m. $B_p H_p$ $a = \frac{g B_p H_p T}{L}$ ϵ $c = \frac{\epsilon^2 B_p H_p}{2gT}$	5260 11,57 5.700 60.900 59.200 56,8 782.000	541 122 671 662 643 574 213	555 129 671 716 695 579 247	569 136 743 772 750 584 284	583 142 750 830 805 589 327	596 150 755 887 860 593 370	610 156 760 949 920 597 420	623 162 765 701 980 602 472
1	$\bar{\delta} =$ $\frac{1}{2} \frac{2L_{0-1} + 2L_{1-2}}{2 \times 2T}$ $= 5,025$	$2B$ b non majeure b Braakman b total	9.800 49.300 1.200 50.500	706 535 26 567	776 583 45 628	724 625 76 701	726 637 105 736	727 637 110 747	728 642 113 755	729 647 117 764
1-2	$2L=12.800$ $\bar{\alpha} = 0,98$ $y = 1,80$	B_p H_p B $B_p H_p$ a ϵ c	3.870 9,87 4.700 38.200 37.500 55,3 92.000	400 705 453 422 414 559 171	412 712 486 462 453 563 137	425 719 500 505 495 571 155	437 725 505 548 538 576 182	448 732 512 592 580 581 210	460 739 515 638 625 586 242	470 745 520 685 670 597 277
2	$\bar{\delta} = 5,07$	$2B$ $b = 2B \cdot \bar{\delta}$	7.630 38.200	534 478	888 445	977 459	930 465	940 470	948 475	958 480
2-3	$2L=12.800$ $\bar{\alpha} = 0,98$ $y = 1,80$	B_p H_p B $B_p H_p$ a ϵ c	3.350 9,57 3.530 32.100 31.500 54,9 74.000	347 702 387 356 350 556 900	358 709 400 390 380 562 107	368 716 417 425 415 568 126	379 722 425 464 455 572 148	389 729 428 502 490 579 173	398 736 433 547 530 584 199	409 742 438 583 570 589 230
3	$\bar{\delta} = 4,56$	$2B$ b	6.530 29.800	733 335	792 360	855 390	893 407	906 413	918 419	928 424
3-4	$2L=10.500$ $\bar{\alpha} = 1,19$ $y = 1,80$	B_p H_p B $B_p H_p$ a ϵ c	2.650 6,62 3.000 17.500 21.000 57,1 24.700	278 729 352 203 240 521 321	282 795 392 225 270 537 403	293 862 438 253 300 539 506	314 929 468 292 350 546 645	325 995 478 323 385 554 784	335 106 485 356 425 559 940	346 113 490 391 465 566 772

Tronçons	Divers		1	2	3	4	5	6	7	8
4	$\bar{\delta} = 4,07$	2 B b	4.740 19.300	548 223	631 257	764 310	929 378	991 403	101 410	103 417
4-5	$2L = 10.300$ $\bar{\alpha} = 1,21$ $y = 1,80$	Bp Hp B BpHp α C c	1.670 6,47 1.740 10.800 13.000 50,9 14.500	175 714 196 125 150 579 193	183 780 239 143 175 529 248	191 847 326 162 195 537 314	199 914 461 182 220 545 394	205 980 513 207 240 552 477	212 105 523 222 270 558 580	219 111 536 244 295 564 690
5	$\bar{\delta} = 4,31$	2 B b	2.590 11.200	285 123	333 144	425 183	556 240	621 263	635 274	653 282
5-6	$2L = 11.700$ $\bar{\alpha} = 1,07$ $y = 1,80$	Bp Hp B BpHp α C c	810 6,77 850 5.480 5.900 51,4 7.850	850 744 893 633 680 524 104	885 810 939 717 765 533 131	920 877 987 807 860 539 165	955 944 105 900 960 548 204	990 101 108 100 107 555 247	102 108 112 110 118 561 296	105 114 117 120 128 567 352
6	$\bar{\delta} = 4,62$	2 B b	1.343 6.200	141 650	150 690	155 720	163 760	168 780	174 810	181 840
6-7	$2L = 11.900$ $\bar{\alpha} = 1,05$ $y = 1,50$	B H BH α C/ $\sqrt{2gT}$ c	493 7,80 3.850 4.050 0,506 7.660	521 830 433 455 511 936	560 900 504 530 518 122	567 960 543 570 523 142	586 103 603 635 529 174	603 111 670 705 536 214	623 116 724 760 540 245	660 121 773 810 544 277
7	$\bar{\delta} = 4,5$	2 B b	853 3.840	894 403	964 434	984 443	102 461	106 478	109 438	115 515
7-8	$2L = 11.200$ $\bar{\alpha} = 1,12$ $y = 1,50$	B H BH α C/ $\sqrt{2gT}$ c	360 6,30 2.270 2.550 0,486 3.360	373 700 261 290 496 449	404 750 303 340 502 573	417 810 338 380 509 710	438 870 381 425 515 880	460 930 428 480 521 709	463 990 460 515 526 726	505 105 530 595 537 756
8	$\bar{\delta} = 4,12$	2 B b	624 2.570	682 287	738 304	789 325	840 346	893 368	926 382	999 417
8-9	$2L = 9.800$ $\bar{\alpha} = 1,28$ $y = 2,60$	B H BH α C/ $\sqrt{2gT}$ c	264 4,80 1.490 1.970 0,356 970	309 480 777 226 365 125	334 530 177 226 375 183	372 590 220 282 375 240	402 640 257 329 383 240	433 700 304 389 392 325	463 750 348 445 402 438	494 800 396 507 415 547
9	$\bar{\delta} = 3,92$	2 B b		480 1880	520 204	573 224	618 242	667 267	712 278	756 296

Marée-tempête

Influence des affluents

§ 1. Calcul des coefficients en tenant compte des affluents

Pour ne pas devoir continuer les calculs dans les affluents, nous considérerons ceux-ci comme des élargissements de l'Escaut. Nous prenons des élargissements tels que la capacité totale de marée reste la même à l'amont des confluent.

Nous avons, d'après l'étude de Bonnet-Blockmans [Annales des travaux
publies de Belgique,
juin 1936]
capacité de l'Escaut, à l'amont de Hingene 35.816.180 m³
capacité du Rupel, à l'amont de Hingene 13.169.625 m³
total : 48.985.805 m³

Pour tenir compte du Rupel, nous élargirons donc à l'amont de Hingene de $\frac{13.169.625}{35.816.180}$ soit 36,7 %

De même pour la Durme:

capacité de l'Escaut, à l'amont de Tielrode 17.324.635 m³
capacité de la Durme, à l'amont de Tielrode 3.844.335 m³
total 21.168.970 m³
élargissement $\frac{3.844.335}{17.324.635}$ soit 22,20 %

Pour obtenir les nouveaux coefficients, nous devons multiplier ceux de l'Escaut par les chiffres suivants:

point 8	:	$\frac{1 + 1,367}{2}$	=	1,1835
tronçon 8-9	:		=	1,367
point 9	:	$\frac{1,367 + 1,670}{2}$	=	1,478
amont de 9	:	$1 + 0,367 + 0,222$	=	1,589

Cela donne les résultats suivants:

Cote	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00
8 b	305	330	360	385	410	435	450	485
8-9 a	208	260	310	385	450	530	610	690
8-9 c	94	124	171	250	328	445	600	748
9 b	242	280	300	330	360	385	410	435
9-10 a	116	155	183	222	262	310	355	405
9-10 c	369	710	960	137	190	249	330	420
10 b	148	160	175	185	200	215	225	235
10-11 a	72	93	113	131	155	178	203	227
10-11 c	256	437	640	880	122	164	212	264
11 b	87	94	99	101	108	113	117	123
11-12 a	53	71	90	110	134	153	180	208
11-12 c	164	298	510	800	115	154	211	276
12 b	67	74	77	80	82	85	91	98
12-13 a	234	350	490	625	765	920	110	125
12-13 c	46	107	227	392	585	890	118	148
13 b	532	610	645	675	705	750	805	870
13-14 a		222	327	442	565	705	820	995
13-14 c		46	108	211	358	547	745	103
14 b		435	465	510	540	590	625	690
14-15 a		100	194	281	372	495	620	744
14-15 c		105	428	920	167	286	448	608
15 b		340	375	420	450	490	540	594

Pour les cotes intermédiaires, on calculera les coefficients a,b,c par interpolation.

Tronçons	Divers		1	2	3	4	5	6	7	8
9-10	2L = 10.100 $\bar{\alpha} = 1,24$ $\gamma = 2,60$	B	155	171	186	201	216	234	244	262
		H	3,30	4,60	500	560	620	670	730	790
		BH	583	788	930	113	134	157	182	207
		α	730	980	115	140	165	195	225	255
		$\epsilon/\sqrt{2gT}$	0,332	0,351	360	370	380	337	396	403
		c	232	447	601	865	120	157	208	265
10	$\bar{J} = 3,84$	2B	243	265	285	305	326	349	369	387
		b	933	1.020	110	117	125	134	142	149
10-11	2L = 9.500 $\bar{\alpha} = 1,30$ $\gamma = 2,60$	B	88	94	99	104	110	115	120	125
		H	4,00	4,30	550	610	680	750	820	880
		BH	352	450	545	635	748	863	985	110
		α	457	585	710	825	973	112	128	143
		$\epsilon/\sqrt{2gT}$	0,338	0,356	368	379	389	398	406	413
		c	161	275	403	553	770	103	133	166
11	$\bar{J} = 3,45$	2B	159	171	180	184	198	206	215	226
		b	548	590	620	635	683	710	740	780
11-12	2L = 8.000 $\bar{\alpha} = 1,56$ $\gamma = 1,60$	B	71	71	81	84	88	91	95	101
		H	3,00	3,70	4,50	530	670	680	760	830
		BH	213	285	365	445	538	618	723	838
		α	332	444	570	695	840	965	113	131
		$\epsilon/\sqrt{2gT}$	0,402	0,423	0,442	458	470	481	492	500
		c	103	188	320	500	730	970	133	174
12	$\bar{J} = 3,38$	2B	125	137	144	150	156	162	173	185
		b	423	463	486	506	527	547	584	625
12-13	2L = 9.200 $\bar{\alpha} = 1,36$ $\gamma = 1,60$	B	54	60	63	66	68	71	78	84
		H	2,00	2,70	3,60	440	520	600	650	690
		BH	108	162	226	290	354	426	507	580
		α	147	220	308	394	482	580	690	790
		$\epsilon/\sqrt{2gT}$	0,365	0,391	0,420	440	456	469	476	483
		c	28,7	67	143	247	369	562	745	925
13	$\bar{J} = 3,56$	2B	94	108	114	120	125	132	142	154
		b	334	384	406	427	445	470	506	548
13-14	2L = 9.000 $\bar{\alpha} = 1,39$ $\gamma = 1,60$	B		48	51	54	57	61	64	70
		H		2,10	2,90	370	450	520	580	640
		BH		101	148	200	256	318	371	448
		α		140	206	278	356	443	516	625
		$\epsilon/\sqrt{2gT}$		0,369	0,398	423	442	456	466	475
		c		29	68	133	225	344	468	650
14	$\bar{J} = 3,41$	2B		80	87	94	100	109	116	127
		b		273	294	320	341	372	395	433
14-15	2L = 8.500 $\bar{\alpha} = 1,47$ $\gamma = 1,60$	B		32	36	40	43	48	52	57
		H		1,34	2,30	300	370	440	510	560
		BH		42,8	83	120	159	212	266	319
		α		63	122	177	234	312	391	470
		$\epsilon/\sqrt{2gT}$		0,340	0,376	402	423	440	455	463
		c		6,6	27	58,2	105	180	282	383
15	$\bar{J} = 3,34$	2B		64	72	80	86	96	104	114
		b		214	236	263	283	310	339	374

Calculs préparatoires (marée-tempête)

Courbe marée aval

Nous prenons la courbe du laboratoire.

Comme zéro des temps nous prenons l'heure de marée haute à Flessingue, soit environ 3^h 10'.

Nous prenons comme point de départ la cote +4,00 m., deux marées avant l'heure 0. Notre courbe se raccorde à celle du laboratoire après environ 3 heures.

Les cotes successives (35 par marée) sont :

Temps	1 ^{re} marée	2 ^{de} marée	3 ^{de} marée	Temps	1 ^{re} marée	2 ^{de} marée	3 ^{de} marée
0	4,00	5,12	6,46	18	1,07	0,82	32
1	3,99	04	40	19	20	1,00	42
2	98	4,93	26	20	34	22	56
3	96	74	04	21	51	50	68
4	91	46	5,83	22	66	79	82
5	83	22	59	23	82	2,10	97
6	69	3,95	31	24	2,03	44	3,16
7	54	63	05	25	26	75	30
8	29	32	4,64	26	47	3,13	
9	2,89	00	20	27	72	52	
10	58	2,66	3,77	28	3,12	4,03	
11	24	30	34	29	62	84	
12	1,89	1,95	04	30	4,16	5,38	
13	62	60	2,78	31	68	64	
14	39	26	60	32	5,08	84	
15	24	00	45	33	18	6,08	
16	12	0,79	33	34	20	34	
17	04	75	26				

Débits supérieurs et latéraux

Les débits du modèle sont :

1) Gentbrugge : 180 m³/sec.

3) Rupel + Durme : 285 m³/sec.

2) Termonde : 89,4 m³/sec.

4) Anvers-Hemixem : 86,4 m³/sec.

Comme nous avons élargi l'Escaut à l'amont de la Durme dans le rapport 1,589 : 1, il faut faire de même pour les débits.

Gentbrugge devient $1,589 \times 180 = 286 \text{ m}^3/\text{sec.}$ (amont de 75)

Termonde " $1,589 \times 89,4 = 142 \text{ m}^3/\text{sec.}$ (point 11)

Marée-tempête

Il reste pour Rupel + Durme : $285 + 180 + 89,4 - 286 - 142 = 126 \text{ m}^3/\text{sec.}$

que nous introduisons au point 8.

Comme la distance entre Anvers et Hemixem est assez petite et que le débit "Anvers - Hemixem" de 86,4 est relativement peu important, nous introduisons ce dernier également au point 8.

Finalement nous aurons :

amont du point	15	$q = -286 \text{ m}^3/\text{sec.}$	
point	11	$q = -142 \text{ m}^3/\text{sec.}$	total - 428 $\text{m}^3/\text{sec.}$
point	8	$q = -212 \text{ m}^3/\text{sec.}$	total - 640 $\text{m}^3/\text{sec.}$

Conditions initiales .

Comme pour la marée moyenne les calculs ont été effectués séparément par Holsters et Dermience.

a) Conditions initiales de Holsters.

On part d'un régime permanent avec, comme débits, les débits supérieurs et latéraux. La cote à Flessingue est + 4,00 m.

Pour un régime permanent la formule $q_f = \frac{q_h + a(k_a - k_o)}{1 + k_p}$ est valable et se réduit (quand $q_f = q_h = q$) à $(k_a - k_o) = k_p q / a$

A partir de cette formule, on trouve pour conditions initiales

Tronçon	q	Tronçon	q	Profil	H	Profil	H
0-1	-640	8-15	-428	0	4,00	8	4,02
1-2	"	9-10	"	1	"	9	4,04
2-3	"	10-11	"	2	"	10	4,10
3-4	"	11-12	-286	3	"	11	4,24
4-5	"	12-13	"	4	"	12	4,32
5-6	"	13-14	"	5	"	13	4,58
6-7	"	14-15	"	6	"	14	5,05
7-8	"			7	"	15	5,96

b) Conditions initiales de Dermience

On part des hauteurs et débits de la marée moyenne correspondant à une hauteur + 4,00 à Flessingue. Toutefois on introduira aussitôt, dans le calcul, les débits latéraux et d'amont de la marée-tempête. Ces calculs ont été reproduits en entier. On remarquera que les résultats obtenus par Holsters et Dermience coïncident après une demi-marée environ. (voir graphiques concernant la marée-tempête.)

Calcul définitif de la marée moyenne

Sur l'annexe 12, il est facile de suivre la marche des calculs.

Nous partons des formules

$$q_f = \frac{q_p + a(h_a - h_o)}{1 + k_p}$$

$$h_f = h_p + \frac{q_a - q_o}{b} = h_p + \frac{q_a - q_o}{a}$$

Inscrivons pour h et q le temps en indice inférieur,
la section en indice supérieur.

Partons par exemple au temps 0 des points 0, 1 et 2

$$\begin{array}{lll} \text{nous connaissons } h_o^0 = 428 & h_o^1 = 430 & h_o^2 = 414 \\ q_{o,1}^{0-1} = 50200 & q_{o,1}^{1-2} = 43300 & q_{o,1}^{2-3} = 34400 \end{array}$$

On calcule $h_1^1 = 430 + \frac{(50200 - 43300)}{749} = 439$

$749 = a$ correspondant à 430

$$h_1^2 = 414 + \frac{(43300 - 34400)}{443} = 434$$

$443 = a$ correspondant à 420

$$q_{12}^{1-2} = \frac{43300}{1 + k_p} + \frac{a(h_a - h_o)}{1 + k_p}$$

A gauche de ce débit sont inscrits 5 nombres disposés de la façon suivante

$$\begin{array}{|l|} \hline h_a - h_o \quad c \\ h_m \quad 1 + k_p \\ a \\ \hline \end{array} \longrightarrow \begin{array}{|l|} \hline + 5 \quad 165 \\ 437 \quad 1,26 \\ 486 \\ \hline \end{array}$$

h_m sert à trouver a et c .

$$k_p = \frac{|q_p|}{c} = \frac{43300}{165.000}$$

$$q_{12}^{1-2} \text{ devient } \frac{43300 + 486 \times 5}{1,26}$$

$$\frac{43300 + 2430}{1,26} = \frac{45730}{1,26} = 36.700$$

N.B. LES ANNEXES 13 ET 14 CONTINUENT LA FEUILLE 12, MAIS NE

DONNENT PLUS QUE LES RÉSULTATS DES CALCULS.

Influence de l'endiguement de Saaftinge sur la marée moyenne

a) Surhauteurs d'eau locales au point 4 situé au droit des schorres de Saaftinge.

La surhauteur du niveau d'eau répond aux formules

$$\bar{\eta}_4 = (h_f - h_p) \times \frac{S}{B \times 2L} \quad \text{et} \quad \eta_f = \eta_p + \frac{\delta_a - \delta_o}{b} + \bar{\eta}_4$$

sachant que h_f = hauteur future sans endiguement

h_p = hauteur passée

S = surface d'eau de Saaftinge

B = largeur de l'Escaut

$2L$ = longueur du tronçon correspondant à $2T = 1315''$

Or, dans le calcul de la marée moyenne sans endiguement, nous avons posé

$$b = \frac{BL}{T}$$

d'où
$$\bar{\eta}_4 = (h_f - h_p) \frac{S}{2Tb}$$

Pour différentes cotes, S est donné ainsi que b .

On obtient facilement le petit tableau suivant.

Cote	0	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
S	760.000 m ²	2.450.000	5.800.000	8.560.000	16.600.000	30.700.000
b		18.200	20.900	24.300	29.600	36.600
$\sigma = \frac{S}{2Tb}$		0,10	0,21	0,27	0,43	0,63

Le calcul des perturbations $\bar{\eta}_4$ est fait à partir de la courbe moyenne dessinée à l'annexe 19.

Temps	h	$h_f - h_p$	h_m	σ	$\bar{\eta}_4$	Temps	h	$h_f - h_p$	h_m	σ	$\bar{\eta}_4$	Temps	h	$h_f - h_p$	h_m	σ	$\bar{\eta}_4$
0	356					11	285	-30	270	.26	-8	22	20	5	20	-	-
1	395	39	375	.38	15	12	255	-30	270	.26	-8	23	25	5	20	-	-
2	428	33	410	.45	15	13	219	-36	240	.24	-9	24	48	23	40	-	-
3	451	33	440	.51	12	14	192	-27	205	.21	-6	25	80	32	65	-	-
4	468	17	460	.55	9	15	158	-34	175	.18	-6	26	106	26	90	-	-
5	471	3	470	.57	2	16	131	-27	145	.14	-4	27	134	28	120	.12	3
6	459	-12	465	.56	-7	17	103	-28	120	.12	-3	28	159	25	150	.15	4
7	425	-34	440	.51	-17	18	78	-25	90	-	-	29	185	26	170	.17	4
8	393	-32	410	.45	-14	19	53	-25	65	-	-	30	215	30	200	.21	6
9	353	-40	370	.37	-15	20	37	-16	45	-	-	31	242	27	230	.23	6
10	322	-31	340	.33	-10	21	27	-10	30	-	-	32	278	36	260	.25	9
11	285	-37	300	.27	-10	22	20	-7	20	-	-	33	317	39	300	.27	11
														39	340	.33	13

b) Calcul des surhauteurs d'eau en un point quelconque

Les surhauteurs et suppléments de débit nous sont donnés par les formules

$$\gamma_f = \frac{1-k}{1+k} \gamma_p + (\eta_a - \eta_o) \frac{a}{1+k}$$

$$\eta_f = \eta_p + \frac{(\gamma_a - \gamma_o)}{b}$$

(voir brochure de Holsters ci-annexée, page 11, form. 9 et 10)

Dans les tableaux suivants, nous allons calculer pour chaque tronçon et chaque multiple de l'unité de temps $2T$, les coefficients

$$\delta = \frac{1-k}{1+k} \quad \alpha = \frac{a}{1+k} \quad \text{et} \quad b$$

correspondant aux hauteurs et débits de marée moyenne calculés par Holsters.

Dans un tableau final, voir annexe 24, nous calculons finalement η et γ , en adoptant la disposition suivante.

Temps	0	0-1	1	1-2	2	2-3	3	3-4
1	η_1^0	γ_1^{0-1}	η_1^1	γ_1^{1-2}	η_1^2	γ_1^{2-3}	η_1^3	γ_1^{3-4}
2	η_2^0	γ_2^{0-1}	η_2^1	γ_2^{1-2}	η_2^2	γ_2^{2-3}	η_2^3	γ_2^{3-4}

On a par exemple

$$\gamma_2^{1-2} = \gamma_1^{1-2} \times \delta + (\eta_1^1 - \eta_1^2) \times \alpha$$

$$\eta_2^2 = \eta_1^2 + \frac{\gamma_2^{1-2} - \gamma_2^{2-3}}{b}$$

Les coefficients α , δ et b sont à relever pour chaque section dans les tableaux annexes 51, 52, 53

Temps	Tronçon 0-1				1	Tronçon 1-2				2	Tronçon 2-3				3	Tronçon 3-4				4	Tronçon 4-5				5	Tronçon 5-6				6				
	h_m	δ				h_m	δ				h_m	δ				h_m	δ				h_m	δ				h_m	δ				h_m	δ		
		$\frac{19m}{1000}$	$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$			$\frac{19m}{1000}$	$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$			$\frac{19m}{1000}$	$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$			$\frac{19m}{1000}$	$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$			$\frac{19m}{1000}$	$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$			$\frac{19m}{1000}$	$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$			$\frac{19m}{1000}$	$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$
0	430	56	68	650	755	420	46	55	375	444	400	35	57	316	377	370	22	38	232	282	340	121	35	140	146	310	55	46	59	650				
1	430	42	75	670	755	440	40	67	390	444	430	33	59	320	382	410	22	40	249	282	380	120	40	160	146	350	62	45	60	650				
2	420	24	85	705	745	440	31	68	375	444	445	28	64	330	386	435	21	44	262	307	420	126	42	184	157	390	67	46	61	661				
3	410	5	96	745	745	430	18	80	435	445	450	21	71	345	386	450	18	51	280	324	445	119	46	208	175	430	68	48	63	674				
4	390	13	90	720	735	420	34	96	475	444	445	11	84	370	387	460	13	63	303	338	465	102	54	236	188	455	65	51	65	684				
5	360	28	82	670	713	390	12	85	450	444	430	-2	96	390	387	460	6	82	339	345	475	71	65	262	199	475	58	57	68	691				
6	340	41	72	625	700	370	26	71	410	441	400	15	78	360	383	440	5	82	332	341	470	21	89	294	204	480	45	65	72	697				
7	320	53	65	575	686	345	35	60	380	439	380	25	64	325	377	410	15	55	275	324	440	44	75	246	199	470	21	82	79	697				
8	290	60	61	560	675	320	42	52	360	435	355	30	57	310	369	380	19	44	245	300	400	83	56	188	180	430	12	89	80	694				
9	260	64	57	530	656	290	45	48	350	431	320	31	54	300	359	345	19	41	228	280	360	90	49	163	159	385	38	65	69	684				
10	230	65	55	510	632	260	45	46	330	425	290	30	52	290	347	310	18	39	213	264	330	92	46	147	148	350	48	55	64	669				
11	200	63	55	495	608	225	44	45	320	416	250	29	52	285	337	270	18	36	197	245	300	93	42	131	140	320	51	50	61	660				
12	165	60	55	485	582	190	41	45	310	407	220	28	51	280	328	240	17	35	189	233	265	92	39	120	131	290	54	45	58	651				
13	135	56	55	475	556	160	39	45	305	399	185	26	51	280	320	210	16	33	179	220	230	91	35	110	125	260	56	41	55	641				
14	105	52	56	470	534	130	36	45	295	387	150	25	50	270	311	180	15	32	170	210	200	90	31	101	120	235	57	38	53	633				
15	80	46	59	465	512	100	34	46	285	377	120	24	50	265	301	145	15	30	158	203	175	86	31	98	115	205	56	34	51	625				
16	70	40	64	475	502	80	31	48	285	367	90	22	51	260	291	115	14	29	149	193	145	85	27	92	113	180	53	34	50	617				
17	50	32	68	480	495	60	28	51	285	361	70	20	54	260	282	90	13	29	147	187	120	81	27	89	110	150	52	32	49	609				
18	50	25	74	495	487	50	22	57	295	354	50	17	57	260	275	75	12	31	141	179	90	75	27	87	107	120	49	31	48	600				
19	50	17	82	515	485	40	17	65	310	351	40	14	63	270	269	45	11	31	135	174	70	71	25	84	104	100	46	31	47	592				
20	50	8	92	550	487	40	11	75	330	348	30	11	71	280	264	30	9	38	137	169	50	65	26	82	102	75	44	30	46	585				
21	65	4	96	565	487	45	4	90	355	348	30	7	87	305	262	25	7	47	145	164	35	55	31	85	100	50	41	30	45	575				
22	85	15	85	545	492	60	6	87	355	350	40	1	78	320	262	25	5	60	157	163	25	46	37	87	99	40	36	34	45	562				
23	100	25	77	530	502	80	14	72	330	356	60	5	84	306	266	35	1	90	191	162	20	33	50	95	98	30	32	38	46	555				
24	125	32	71	520	512	105	20	65	325	363	85	11	72	295	272	60	4	69	178	165	35	10	84	119	97	25	24	49	50	550				
25	150	37	69	520	534	130	24	60	325	372	110	15	67	290	282	90	8	51	168	172	65	24	65	110	99	40	11	74	59	550				
26	170	41	67	520	548	150	27	59	330	379	135	17	64	290	288	115	9	46	168	180	100	43	50	104	102	70	11	75	60	555				
27	200	45	65	525	567	180	29	57	340	387	160	18	57	280	298	140	10	48	178	187	120	51	46	103	105	105	26	55	56	570				
28	230	52	63	535	590	210	31	57	345	397	190	19	61	295	305	170	11	45	183	193	150	59	44	105	107	130	31	50	55	588				
29	275	60	60	545	612	240	34	55	350	404	215	21	61	300	315	200	12	44	191	200	175	64	44	108	110	155	35	49	55	595				
30	320	67	59	565	648	280	40	52	350	412	245	23	60	300	322	225	13	44	197	209	200	70	43	110	113	180	37	49	56	603				
31	360	73	57	580	675	320	45	50	350	423	285	27	56	300	329	260	15	43	204	219	230	75	43	117	115	210	41	49	57	610				
32	390	73	59	600	697	360	48	47	350	431	330	31	55	300	339	295	17	40	209	233	275	83	44	127	120	240	43	49	58	619				
33	420	66	63	620	716	400	50	51	370	437	370	34	54	303	352	335	20	39	221	243	300	98	40	129	126	270	48	48	58	628				
					739					442					366					264					133						637			

Maree moyenne

Temps	Tronçon 6-7				7	Tronçon 7-8				8	Tronçon 8-9				9	Tronçon 9-10				10	Tronçon 10-11				11	Tronçon 11-12				12
	h_m	δ				h_m	δ				h_m	δ				h_m	δ				h_m	δ				h_m	δ			
		$\frac{19m}{100}$	$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$			$\frac{19m}{100}$	$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$			$\frac{19m}{100}$	$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$			$\frac{19m}{100}$	$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$			$\frac{19m}{100}$	$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$			$\frac{19m}{100}$	$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$	
0	280	31	55	38	40	250	18	43	23	32	220	10	10	17	26	200	39	30	14	17	190	10	63	9	10	180	3	82	7	7
1	320	35	54	38	41	280	20	42	23	33	250	11	8	17	27	220	50	23	13	17	205	18	45	8	10	190	6	68	7	7
2	360	40	51	38	42	320	24	40	23	34	275	13	5	17	27	240	59	18	13	17	220	26	31	8	10	210	9	59	7	7
3	400	44	51	39	43	360	28	37	23	35	310	16	2	17	27	265	70	16	13	17	245	30	29	7	10	230	13	50	6	7
4	430	45	52	39	44	390	30	36	23	36	340	18	0	17	28	295	83	13	13	17	265	35	26	7	10	250	19	39	6	7
5	460	44	55	40	44	420	32	38	24	36	375	20	2	18	29	325	95	12	13	17	290	45	18	7	10	270	22	37	6	7
6	480	41	59	42	45	460	32	40	25	37	410	22	4	19	30	360	110	11	13	18	320	52	16	7	10	290	27	31	6	7
7	485	33	65	43	45	480	30	44	26	38	440	22	9	20	31	390	120	12	14	18	350	60	14	7	10	310	33	27	6	7
8	470	18	80	47	45	485	26	51	27	38	465	21	15	22	32	425	129	13	14	19	380	70	12	7	11	340	39	25	6	8
9	425	7	90	49	43	470	15	67	30	38	480	19	24	24	32	450	132	15	15	19	410	75	13	7	11	370	45	24	6	8
10	375	26	67	42	42	425	5	87	33	37	470	12	43	27	32	470	117	23	16	19	440	77	16	8	11	400	49	25	6	8
11	345	33	57	40	42	380	22	49	26	36	435	5	68	31	32	470	78	41	18	20	460	75	20	8	11	430	52	29	6	8
12	320	37	52	38	41	355	27	38	23	35	390	15	17	21	32	430	25	74	22	20	460	58	31	9	11	450	52	31	6	8
13	295	39	48	36	41	325	26	36	23	34	360	16	9	19	31	390	80	31	26	19	425	0	100	13	11	460	42	43	7	8
14	260	38	46	35	40	295	26	33	22	34	330	16	4	17	30	365	77	28	15	19	390	41	38	9	11	420	0	100	9	8
15	235	37	45	35	40	265	25	31	21	34	310	15	3	17	29	340	84	20	14	19	370	45	30	8	11	390	28	48	7	8
16	205	36	42	33	39	240	24	30	21	33	280	15	-2	16	29	320	86	16	13	18	350	51	21	8	11	370	28	45	7	8
17	180	34	42	33	39	210	24	26	20	32	260	15	-6	15	28	300	87	12	13	18	330	51	18	7	11	350	32	42	6	8
18	150	33	41	32	38	190	23	26	19	32	230	15	-9	14	28	280	87	8	12	18	310	53	13	7	11	340	33	33	6	8
19	130	32	41	32	38	160	22	24	19	31	215	14	-12	13	27	260	93	0	11	18	290	51	12	7	11	330	36	27	6	8
20	100	31	41	32	37	135	22	23	18	30	190	14	-14	13	27	245	87	0	11	17	280	55	6	6	11	320	35	26	6	8
21	80	29	42	32	37	110	21	21	18	29	170	14	-17	12	26	220	85	-4	10	17	265	54	4	6	10	300	35	21	5	8
22	60	27	41	31	36	90	20	20	17	29	150	13	-18	11	25	205	84	-6	10	17	250	54	2	6	10	280	34	18	5	8
23	40	25	42	31	36	70	19	20	17	28	125	13	-20	10	25	185	82	-10	9	17	230	53	-1	5	10	270	34	16	5	7
24	30	22	45	31	36	55	18	21	17	28	110	12	-21	10	24	170	79	-17	9	16	210	52	-4	5	10	250	34	11	5	7
25	30	18	54	33	36	40	16	24	17	28	90	12	-21	10	24	150	76	-14	9	16	200	51	-6	5	10	240	33	10	5	7
26	40	9	74	38	36	35	13	30	18	27	75	11	-20	10	23	130	74	-17	8	16	180	49	-8	5	10	220	33	5	4	7
27	75	6	82	40	36	45	8	50	21	27	65	10	-17	10	22	115	71	-16	8	16	165	48	-10	5	10	210	31	4	4	7
28	110	16	65	37	37	80	2	85	26	27	70	8	-6	11	22	105	67	-18	8	15	150	46	-11	5	10	200	30	3	4	7
29	140	18	61	37	38	120	10	54	22	27	100	1	69	21	22	100	59	-13	9	15	140	44	-11	5	10	180	29	0	4	7
30	165	21	59	37	38	150	11	52	22	29	130	5	29	17	23	115	31	24	12	15	130	42	-11	5	9	170	28	0	4	7
31	190	23	59	37	39	170	13	48	22	29	155	6	25	17	24	140	10	69	17	15	135	32	3	6	9	160	27	-2	4	7
32	220	25	57	37	39	200	14	48	23	30	175	7	18	17	25	160	23	45	15	16	155	14	47	8	9	155	23	4	4	7
33	250	27	56	37	40	225	16	45	23	31	200	8	13	17	25	180	26	43	15	16	170	2	100	11	10	165	13	33	5	7

Maree moyenne

Maree moyenne

Temps	Tronçon 12-13				13	Tronçon 13-14				14	Tronçon 14-15				15	Tronçon 15-16			
	h_m	lq_m	δ	α		h_m	lq_m	δ	α		h_m	lq_m	δ	α		h_m	lq_m	δ	α
			$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$				$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$				$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$				$\frac{1-k}{1+k}$	$\frac{\alpha}{1+k}$
		10					10					10					10		
0	185	14	-12	3		220	22	-30	2		260	82	-28	1,3		370	63	-40	0,8
1	190	10	6	3	5	215	11	-27	2	4	250	79	-32	1,2	3,1	370	60	-38	0,8
2	205	4	56	5	5	210	9	-22	2	4	245	78	-33	1,2	3,1	300	60	-43	0,7
3	220	2	71	5	5	220	7	-2	2	4	245	72	-30	1,2	3	290	58	-45	0,7
4	240	6	47	5	5	230	2	59	4	4	245	63	-24	1,3	3	290	57	-46	0,7
5	250	8	37	4	5	240	2	60	4	4	250	54	-14	1,5	3	285	55	-47	0,7
6	270	11	28	4	5	260	3	54	4	4	260	36	13	2,0	3	285	53	-46	0,7
7	290	15	21	4	5	270	5	38	3	4	270	16	52	2,7	3	285	50	-43	0,7
8	310	18	16	4	6	290	7	27	3	4	280	0	100	3,6	3,1	295	43	-30	0,9
9	340	22	14	4	6	310	10	17	3	4	300	10	74	3,2	3,1	305	36	-16	1,1
10	360	27	11	4	6	330	12	13	3	4	320	26	50	2,8	3,2	375	30	-3	1,3
11	390	30	13	4	6	360	14	15	3	4	335	48	31	2,5	3,2	330	17	32	1,8
12	420	33	16	4	6	380	17	12	3	4	360	63	27	2,4	3,2	345	4	27	1,7
13	440	34	18	4	6	410	20	13	3	5	380	85	19	2,3	3,3	365	16	49	2,1
14	450	30	26	4	6	430	21	15	3	5	400	103	16	2,3	3,4	390	20	51	2,2
15	420	30	87	6	6	445	19	23	3	5	430	110	21	2,4	3,4	415	26	49	2,2
16	390	18	37	4	6	420	16	26	3	5	445	102	28	2,6	3,5	440	29	50	2,2
17	370	20	28	4	6	390	14	26	3	5	430	21	78	3,6	3,5	460	20	67	2,6
18	360	23	18	4	6	385	13	25	3	5	410	117	9	2,2	3,5	450	45	36	2,0
19	350	23	14	4	6	380	13	24	3	5	410	112	14	2,3	3,5	445	102	-5	1,4
20	340	24	17	4	6	370	17	8	3	5	400	127	5	2,1	3,5	430	95	-6	1,4
21	330	24	9	3	6	360	17	5	3	5	390	124	3	2,0	3,5	420	84	-4	1,4
22	315	24	4	3	6	350	17	2	3	5	380	118	3	2,0	3,4	410	80	-5	1,4
23	300	24	0	3	6	340	15	6	3	4	370	114	1	2,0	3,4	395	77	-8	1,3
24	290	24	-2	3	6	325	14	3	3	4	360	110	0	1,9	3,4	385	73	-17	1,3
25	275	22	-5	3	6	310	16	-6	2	4	345	107	-4	1,8	3,3	380	71	-12	1,3
26	260	22	-9	3	6	300	15	-9	2	4	335	103	-6	1,8	3,3	370	70	-17	1,2
27	250	22	-12	3	6	290	15	-12	2	4	320	99	-11	1,7	3,3	360	69	-22	1,2
28	235	21	-15	3	5	275	14	-16	2	4	310	97	-13	1,6	3,2	350	68	-28	1,0
29	220	20	-18	2	5	265	14	-18	2	4	300	95	-17	1,5	3,2	340	66	-29	1,0
30	210	20	-20	2	5	255	13	-21	2	4	295	91	-17	1,5	3,2	335	66	-32	0,9
31	200	19	-23	2	5	245	13	-23	2	4	285	90	-21	1,4	3,2	330	65	-33	0,9
32	190	18	-23	2	5	235	13	-26	2	4	275	90	-25	1,4	3,1	320	64	-36	0,9
33	180	17	-23	2	5	225	12	-29	2	4	270	86	-26	1,3	3,1	315	63	-38	0,8

INFLUENCE DE L'ENDIGUEMENT DE SAAFTINGE
SUR LA MARÉE - TEMPÊTE

L'ESTIMATION DES SURHAUTEURS D'EAU LOCALES AU POINT 4 COM-
PORTE LE CALCUL DE LA QUANTITÉ

$$\bar{\eta}_4 = (h_f - h_p) \times \frac{S}{2Tb} \quad (\text{VOIR ANN. 49})$$

ICI $2T = 1277$ SEC.
ON OBTIENT LE TABLEAU SUIVANT POUR LA QUANTITÉ $\frac{S}{2Tb} = \sigma$

COTE	0	1	2	3	4	5	6	7	8
S/100 000	7,6	24,5	58,0	85,6	166	301	326	333	342
b/100	166	193	223	257	310	378	403	410	416
$\sigma = \frac{S}{2Tb}$	0,036	0,100	0,200	0,260	0,420	0,620	0,630	0,640	0,640

COMME POUR LA MARÉE MOYENNE, NOUS ÉTABLISSONS LE TABLEAU
SUIVANT, LES COTES ÉTANT CELLES DE LA COURBE DESSINÉE A
L'ANNEXE 10 (PROFIL 4).

TEMPS	h	$h_f - h_p$	$\bar{\eta}_4$	TEMPS	h	$h_f - h_p$	$\bar{\eta}_4$	TEMPS	h	$h_f - h_p$	$\bar{\eta}_4$	TEMPS	h	$h_f - h_p$	$\bar{\eta}_4$
25	150			7	497			24	110			6	660		
		25	4			-32	-18			40	5			-30	-19
26	175			8	465			25	150				7	630	
		25	5			-33	-17			37	6				
27	200			9	432			26	187						
		25	5			-32	-14			35	7				
28	225			10	400			27	222						
		25	6			-33	-13			35	8				
29	250			11	367			28	257						
		27	6			-36	-12			37	9				
30	277			12	331			29	294						
		27	7			-35	-10			36	10				
31	304			13	296			30	330						
		31	9			-32	-8			38	13				
32	335			14	264			31	368						
		42	15			-32	-7			46	18				
33	377			15	232			32	414						
		43	24			-36	-8			56	28				
34	420			16	196			33	470						
		48	24			-33	-6			53	33				
0	468			17	163			34	523						
		39	23			-32	-5			42	26				
1	507			18	131			0	565						
		28	17			-25	-3			37	23				
2	535			19	106			1	602						
		14	9			-23	-2			30	19				
3	549			20	83			2	632						
		2	1			-21	-2			28	18				
4	551			21	62			3	660						
		-6	-4			-3	0			20	13				
5	545			22	59			4	68						
		-19	-12			14	1			0	0				
6	526			23	73			5	680						
		-29	-18			37	4			-20	-13				

Temps	Tronçon 0-1						Tronçon 1-2						Tronçon 2-3					
	q _m	2c	0,5k	a	a	1-k	q _m	2c	0,5k	a	a	1-k	q _m	c	k	a	a	1-k
	1000				1+k	1+k	1000				1+k	1+k	1000				1+k	1+k
25	39	440	.09	65	550	70	26	220	12	41	330	61	17	86	19	35	290	68
					560	69					337	61					295	68
	45	470	.10	68	570	68	30	240	12	43	345	60	19	94	20	36	300	67
30					575	65					352	60					305	66
	63	520	.12	72	580	61	34	270	13	45	360	60	22	104	21	38	310	65
					590	58					365	56					315	63
	88	610	.14	77	600	55	50	310	16	49	370	51	30	117	26	40	320	60
					620	57					380	47					335	60
0	85	670	.13	81	645	60	64	360	18	53	390	47	32	135	24	43	350	61
					680	67					415	52					365	62
	47	670	.07	82	720	75	47	385	12	55	440	61	35	153	23	46	380	63
					750	83					460	70					390	66
	12	665	.02	81	780	92	22	380	.06	54	485	79	27	156	17	47	400	71
5					780	97					515	90					420	81
	25	620	.04	79	730	85	5	360	.01	53	515	94	3	151	.02	46	445	96
					680	76					470	78					525	88
	53	570	.09	75	635	69	34	330	.10	51	420	65	20	140	.14	44	385	75
					600	62					385	57					360	65
10	70	520	.13	72	570	57	48	305	.16	48	365	52	35	128	.27	42	330	57
					540	54					350	49					315	54
	74	475	.16	68	520	53	50	270	.19	46	335	46	35	116	.30	40	305	54
					500	52					320	43					297	52
	69	430	.16	64	485	51	50	240	.21	43	305	41	34	104	.33	38	290	50
15					470	50					295	40					275	48
	64	390	.16	61	460	50	46	215	.21	41	285	40	33	92	.36	35	260	47
					450	52					275	40					250	47
	51	360	.14	58	450	56	41	190	.22	38	265	40	29	82	.35	33	240	48
					465	64					265	42					235	50
20	29	350	.08	57	490	72	31	170	.18	37	270	47	23	73	.31	31	235	52
					530	85					285	57					240	57
	9	360	.03	59	590	100	16	175	.09	36	305	70	15	68	.22	30	245	64
					555	81					360	94					270	78
	32	205	.16	62	537	72	15	95	.16	39	333	72	4	73	.05	31	294	89
25					530	66					325	61					280	72
	52	225	.23	66	537	63	32	107	.30	41	375	54	19	82	.22	33	270	64
					545	61					320	51					275	60
	63	245	.26	69	550	59	41	122	.34	44	329	49	26	94	.27	36	284	57
					560	58					340	49					287	54
30	79	280	.28	74	577	56	47	140	.34	47	352	49	30	107	.31	38	290	53
					590	52					360	47					304	54
	112	330	.34	81	605	49	66	167	.40	51	366	44	36	125	.29	41	318	55
					635	51					385	41					324	51
	93	360	.26	85	675	59	76	195	.39	56	403	44	54	149	.36	46	334	47
0					700	62					428	50					354	49
	80	380	.21	87	720	65	63	215	.29	58	453	55	50	167	.30	49	373	54
					745	68					468	58					390	57
	59	395	.15	89	775	74	55	225	.25	60	482	61	44	183	.24	51	407	61
					810	84					470	67					422	65
5	8	380	.02	87	850	96	29	222	.13	60	458	77	34	188	.18	52	438	70
																	465	83
													0	180	0	50	500	100
10																		

Temps	Tronçon 3-4						Tronçon 4-5						Tronçon 5-6					
	q _m	c	k	a	a	1-k	q _m	c	k	a	a	1-k	q _m	c	k	a	a	1-k
	1000				1+k	1+k	1000				1+k	1+k	100				1+k	1+k
25	9	30	30	23	177	54	4	16	25	138	110	60	0	8	.00	61	61	100
					179	52					111	54					51	61
	11	33	33	24	180	50	6	19	31	148	112	51	29	10	.30	65	50	54
30					187	49					116	51					51	53
	12	37	34	26	195	49	7	22	32	160	121	50	34	11	.31	69	53	53
					200	49					125	50					54	52
0	15	43	35	28	204	48	8	25	33	172	130	50	41	12	.33	74	56	50
					205	44					134	49					57	49
	23	51	45	30	206	38	11	29	36	188	138	47	50	14	.35	79	59	48
5					217	35					140	41					61	47
	31	63	49	34	229	35	16	35	46	206	142	37	62	17	.37	87	64	46
					247	40					148	38					66	44
10	25	70	36	36	265	47	17	42	42	224	157	41	81	20	.41	97	69	43
					292	61					169	50					73	46
	9	70	13	36	320	77	11	44	25	232	185	60	74	23	.32	102	77	51
15					350	100					205	78					81	59
	10	66	15	35	307	74	1	43	02	228	223	96	42	23	.18	102	86	70
					265	55					192	70					94	87
20	23	58	40	32	229	43	12	38	31	214	164	53	23	21	.11	97	87	80
					212	38					153	48					78	75
	10	48	48	29	198	35	13	33	39	198	143	45	58	20	.29	89	69	55
25					186	32					135	42					63	45
	22	41	54	27	175	30	12	28	44	182	127	39	71	16	.45	83	57	38
					167	28					120	37					54	34
30	21	36	58	25	158	27	12	24	48	168	114	35	70	14	.52	77	51	32
					149	25					106	32					48	30
	19	30	63	23	141	23	11	20	55	154	99	29	66	12	.55	72	47	29
0					134	22					94	27					44	27
	16	25	64	21	138	22	10	17	59	142	89	26	61	11	.59	67	42	26
					125	22					86	27					40	25
5	13	21	62	20	123	23	9	15	58	130	82	27	56	9	.64	63	39	23
					140	29					79	29					37	22
	6	22	27	20	157	57	7	13	56	120	77	28	49	8	.63	59	36	23
10					200	93					86	40					36	26
	8	26	28	22	172	56	2	14	14	128	112	75	37	7	.51	57	38	32
					171	47					112	63					51	65
15	13	32	41	24	171	42	6	18	33	144	108	50	15	9	.18	63	54	71
					177	41					114	49					52	56
	16	38	42	26	183	41	8	22	34	161	120	49	39	11	.35	69	51	48
20					190	41					126	49					52	45
	19	46	42	28	197	41	9	26	35	178	132	48	50	13	.39	76	54	44
					205	37					136	46					55	41
25	28	56	51	32	212	32	13	32	40	195	140	43	59	13	.45	82	56	38
					224	30					143	36					58	38
	37	71	52	36	236	32	20	40	49	218	146	34	80	18	.44	89	62	39
30					256	37					162	37					65	38
	33	81	41	39	277	42	20	47	42	238	168	41	93	21	.45	100	69	38
					295	46					178	45					74	41
0	28	88	32	42	314	51	18	53	34	255	190	49	92	24	.38	110	79	45
					345	63					204	54					85	49
	9	89	10	42	377	82	13	57	23	266	216	63	84	27	.31	117	89	53
5											260	100					96	62
							11	53	21	255	217	65	35	29	.12	117	104	79
10																		

Temps	Tronçon 6-7						Tronçon 7-8						Tronçon 8-9					
	q _m	c	k	a	a	1-k	q _m	c	k	a	a	1-k	q _m	c	k	a	a	1-k
	100				1+k	1+k	100				1+k	1+k	10				1+k	1+k
25	20	74	27	40	31	57												
	8	84	10	42	39	86												
					39	74	10	35	29	26	21	55	110	10	1.10	22	17	-05
	18	96	19	46	39	68	10	44	23	28	23	63	25	17	23	24	19	63
30					40	66												
	24	110	22	50	41	64	13	50	26	31	25	59	65	13	50	27	18	33
					42	63												
	28	123	23	53	43	63	16	56	28	33	26	56	80	16	50	30	20	33
					44	62												
0	35	137	26	57	45	60	19	64	30	36	28	54	100	19	53	33	22	31
					46	56												
	48	160	30	61	47	54	26	76	34	39	29	49	145	24	61	37	23	25
					49	55												
	53	190	28	66	52	56	37	90	41	43	31	42	220	30	74	43	25	16
5					54	59												
	42	202	21	69	57	65	37	107	36	46	34	47	260	38	69	48	29	19
					61	76												
	8	190	04	67	64	92	20	103	19	46	39	68	210	42	49	52	35	34
					46	77												
10	38	165	23	62	50	63	22	90	24	43	35	61	30	40	07	50	46	86
					47	55												
	48	145	33	58	44	50	36	78	47	40	27	37	220	33	68	44	26	19
					42	48												
15	47	132	36	55	41	47	35	69	52	38	25	32	220	27	81	41	22	10
					39	46												
	45	120	38	52	38	45	34	62	54	35	23	30	210	23	91	37	19	05
					36	44												
	42	105	40	48	34	43	32	55	57	33	21	27	200	20	1.02	34	17	-01
					33	42												
20	39	90	43	46	32	40	30	48	62	32	19	24	185	17	1.09	31	15	-04
					31	39												
	36	83	43	43	30	40	28	41	67	28	17	20	175	15	1.21	28	14	-10
					29	41												
25	31	76	40	41	29	43	25	38	66	27	16	20	165	13	1.27	27	12	-12
					30	51												
	19	77	24	40	32	61	22	34	65	26	16	21	150	11	1.36	25	17	-15
					42	100												
	17	93	18	45	38	70	5	40	13	27	23	77	110	10	1.10	24	17	-05
					39	66												
30	26	117	23	50	40	63	12	49	25	31	25	61	0	13	0	27	27	100
					42	61												
	34	128	26	54	43	59	18	59	31	34	26	54	80	17	48	30	21	35
					44	57												
0	42	146	29	59	46	55	24	69	35	38	28	48	120	21	59	34	22	27
					48	53												
	57	181	32	65	50	52	34	83	41	41	29	42	175	27	66	39	24	20
					54	53												
	65	214	30	75	58	54	45	103	44	46	32	40	265	34	79	46	26	12
					60	55												
5	63	235	27	80	63	57	47	116	41	50	35	43	320	44	74	53	31	16
					63	60												
	54	248	22	77	63	64	43	125	35	51	38	48	335	56	60	60	37	25
					66	78												
10	7	230	03	73	71	94	20	127	16	51	44	72	280	63	45	63	43	38

Temps	Tronçon 9-10						Tronçon 10-11						Tronçon 11-12					
	q _m	c	k	a	a	1-k	q _m	c	k	a	a	1-k	q _m	c	k	a	a	1-k
	10				1+k	1+k	10				1+k	1+k	10				1+k	1+k
											x10						x10	
25																		
30	55	65	85	15	81	08	64	50	1.28	10	44	-14						
					102	32					46	-10						
	17	70	24	16	129	61	54	51	1.06	10	49	-03	38	47	81	85	47	10
0					147	90					55	06					49	15
	8	85	09	17	155	83	35	56	.63	11	65	23	30	47	.64	86	52	22
					152	70					80	41					58	32
5	24	100	24	18	149	61	14	65	22	12	95	64	19	52	.37	90	66	46
					148	50					110	89					75	63
	49	120	41	21	149	42	6	76	08	12	111	85	7	62	11	97	87	80
10					150	36					104	68					101	100
	74	145	51	23	152	32	25	90	28	13	102	56	8	76	10	107	97	81
					154	27					102	47					97	69
15	176	185	63	26	157	23	49	170	45	15	104	39	26	100	.26	123	98	59
					170	25					107	36					107	52
	121	230	53	29	190	31	66	143	46	17	113	37	45	128	.35	140	104	48
20					223	49					120	47					108	47
	50	245	20	31	257	66	60	165	.36	18	132	47	51	154	.33	152	174	50
					286	100					148	65					125	63
25	108	200	54	27	175	30	30	150	20	17	142	67	14	160	09	156	143	83
					160	20					113	26					125	50
	129	170	76	25	142	14	93	128	73	16	93	76	66	140	47	144	98	36
30					131	10					86	12					91	30
	133	150	.89	23	122	06	99	176	85	15	81	08	70	125	.56	136	87	28
					113	03					76	06					85	27
0	130	130	1.00	22	107	00	97	104	93	14	73	04	65	112	.58	132	84	27
					102	-01					69	02					80	26
	123	120	1.02	20	99	-01	92	94	98	13	66	01	61	100	.61	125	78	24
5					94	-04					65	00					76	25
	176	100	1.16	19	88	-07	88	86	1.02	13	64	-01	59	100	.59	118	74	26
					84	-09					62	-02					71	25
10	172	93	1.21	18	81	-10	84	78	1.08	13	60	-04	56	90	.62	110	68	24
					78	-10					59	-05					66	23
	106	85	1.25	17	76	-11	80	72	1.11	12	57	-05	53	82	.65	106	64	22
15					72	-13					55	-07					62	21
	98	75	1.31	16	69	-13	77	65	1.18	12	53	-08	50	74	.68	102	61	20
					69	-17					51	-08					59	19
20	80	72	1.11	16	73	-05	71	60	1.18	11	50	-08	47	68	.70	96	56	18
					92	18					50	-10					55	17
	10	86	12	18	157	79	58	57	1.02	11	52	-11	43	60	.73	93	54	16
25					165	82					63	00					55	18
	30	110	27	20	153	57	32	68	47	12	78	36	33	54	.61	95	59	24
					151	46					99	65					67	38
30	62	134	46	22	150	37	6	83	.07	13	121	87	14	56	.25	102	81	60
					151	30					127	92					103	90
	105	170	62	25	155	23	18	102	.18	14	129	70	10	70	.14	116	101	75
0					162	19					112	55					97	56
	150	220	68	29	172	19	52	127	41	16	110	42	34	88	.39	131	95	44
					184	20					111	33						
5	180	280	64	32	195	22	91	163	.56	18	115	28						
10																		

SECTIONS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
25 —	570	415	335	210	116	62	38								
	590	425	335	215	120	63	38,5								
	610	430	340	225	122	64	39	31	27						
	630	440	350	235	124	65	39,5	32	27						
30 —	660	445	355	245	128	66	40,5	32,5	27	16,1	9,8				
	690	450	365	250	130	67	41	33	27,5	16,1	9,8				
	715	455	370	265	138	68	42	34	28	16,2	9,8	7,7	6,6		
	730	460	385	290	154	69	43	35	29	16,6	9,8	7,7	6,6		
	740	465	395	310	170	70	43,5	36	29,5	17	9,8	7,7	6,6	5,2	4,8
0 —	740	465	405	335	190	71	44	36,5	30	17,4	9,9	7,7	6,6	5,2	4,8
	740	465	410	360	210	72	44	37,5	31	17,7	9,9	7,7	6,6	5,2	4,8
	740	460	410	380	230	74	44,5	38,5	31,5	17,9	9,9	7,7	6,6	5,2	4,8
	735	460	410	390	246	76	45	39	32,5	18,2	10,0	7,8	6,6	5,2	4,8
	730	460	410	390	254	77	46	40	33,5	18,5	10,1	7,9	6,7	5,2	4,8
5 —	720	460	410	390	258	77	46,5	41	34,5	18,9	10,2	8,0	6,8	5,3	4,8
	715	460	410	385	258	77	47	42	36	19,4	10,3	8,1	6,8	5,3	4,8
	700	457	405	375	254	77	47,5	43	37	20	10,5	8,2	6,9	5,3	4,8
	680	455	400	360	243	77	47,5	43	38	20,5	10,8	8,3	7,0	5,4	4,8
	665	450	390	340	226	76	47	43	38	21	11,1	8,4	7,2	5,5	4,8
10 —	640	450	380	320	208	75	46	42	38	21,4	11,3	8,5	7,3	5,6	4,8
	620	445	370	300	190	74	45,5	41,5	37,5	21,3	11,3	8,5	7,4	5,8	4,9
	590	440	360	285	174	73	45	40,5	37	20,9	11,3	8,6	7,6	6,0	5,0
	570	430	350	265	162	72	44,5	39,5	36	20,4	11,1	8,5	7,7	6,1	5,2
	545	420	350	255	150	71	44,5	39	35	20	11,0	8,5	7,7	6,2	5,3
15 —	530	410	340	240	140	70	44	38	34	19,6	10,9	8,4	7,6	6,1	5,4
	515	400	330	230	132	69	44	37,5	33	19,3	10,8	8,3	7,5	6,1	5,4
	500	390	315	220	124	67,5	43	37	32,5	19,1	10,7	8,3	7,4	6,0	5,4
	495	380	305	210	121	66,5	42,5	36,5	32	18,9	10,6	8,2	7,3	6,0	5,3
	490	375	295	200	118	65	41,5	35,5	31,5	18,6	10,5	8,1	7,2	5,9	5,2
20 —	495	370	290	190	114	64	41	35	31	18,4	10,4	8,1	7,2	5,9	5,1
	505	375	290	185	112	64	40	34,5	30,5	18,2	10,3	8,1	7,1	5,8	5,1
	525	380	290	180	110	63	39,5	33,5	30	18	10,2	8,0	7,1	5,7	5,1
	540	390	295	180	108	62	39	33	29,5	17,9	10,2	8,0	7,0	5,7	5,0
	560	400	310	190	108	61,5	38,5	32,5	29	17,7	10,1	8,0	7,0	5,6	5,0
25 —	575	415	320	200	110	61	38	32	28,5	17,5	10,0	8,0	7,0	5,6	5,0
	600	425	330	210	114	60	38	31,5	28	17,3	10,0	8,0	7,0	5,5	5,0
	630	435	345	220	120	60	39	31	28	17,1	10,0	8,0	6,9	5,5	4,9
	660	445	355	235	125	61,5	40	31	27,5	16,9	9,9	8,0	6,9	5,5	4,9
	690	450	365	250	130	64	41	32	27,5	16,7	9,9	7,9	6,9	5,4	4,9
30 —	720	455	375	265	138	66,5	41,5	33	28	16,5	9,9	7,9	6,8	5,4	4,9
	740	460	385	280	150	68,5	42	34	28	16,5	9,9	7,9	6,8	5,4	4,9
	740	465	395	305	166	70	43	35,5	29	16,8	9,9	7,8	6,8	5,3	4,9
	745	470	405	330	186	71	43,5	36,5	30	17,1	9,9	7,8	6,7	5,3	4,8
	750	470	410	360	210	72,5	44	37	31	17,5	9,9	7,8	6,7	5,3	4,8
0 = 35 —	750	470	410	390	232	74	45	38	32	17,9	9,9	7,8	6,7	5,3	4,8
	750	470	413	400	252	75,5	45,5	39	33	18,2	10,0	7,8	6,7	5,3	4,8
	750	470	415	405	264	77	46,5	40	34	18,6	10,0	7,9	6,7	5,3	4,8
	750	470	415	405	270	78	47	41	35	19	10,2	8,0	6,8	5,3	4,8
	747	470	415	405	272	79	48	42	36	19,5	10,4	8,1	6,8	5,3	
5 —	745	470	415	405	274	80	48	43	37	20,1	10,6	8,1	6,9	5,3	
				405	274	81	48,5	44	38,5	20,8	10,9	8,2	7,0		
				405	274	81	49	44,5	39,5	21,3	11,1	8,4	7,1		
						81	49	45	40,5	21,9	11,3	8,5			
						80	49	45,5	41	22,3	11,5	8,6			
10 —							48,5	45	41,5						
							48	44	41						

M.H. Tempête

Valeurs de b

Indications générales

Formule des débits corrigée

La formule des débits

$$q_f = \frac{q_k + a(h_a - h_o)}{1 + k_p}$$

n'est pas tout à fait exacte. Elle a été trouvée en prenant pour la fonction $q|q|$ l'approximation $q_f|q_k|$.

En réalité, il faut calculer la valeur moyenne de cette fonction dans l'intervalle $(0, 2T)$.

En supposant que q varie linéairement, nous avons

$$q = q_k + \frac{(q_f - q_k)}{2T} t$$

a) Prenons d'abord le cas où q_f et q_k ont le même signe.

Il faut alors calculer l'intégrale

$$q|q| = \frac{1}{2T} \int_0^{2T} \left[q_k + \frac{(q_f - q_k)t}{2T} \right]^2 dt$$

ce qui donne $q|q| = q_f|q_k| + \frac{q_k^2}{3} \left(\frac{q_f - q_k}{q_k} \right)^2$

Sachant que (voir ^{article de la} Revue générale de l'Hydraulique, page 70, annexe n° 70 du présent rapport)

$$\frac{(h_o - h_a)}{2L} = -\frac{1}{gBH} \left[\frac{(q_f - q_k)}{2T} - \frac{q_f|q_k|}{C^2 B^2 H^3} - \frac{q_k^2 (q_f - q_k)^2}{3 q_k C^2 B^2 H^3} \right]$$

$$a(h_o - h_a) = -q_f + q_k - q_f \frac{|q_k|}{c} - q_k \frac{|q_k|}{3c} \left(\frac{q_f - q_k}{q_k} \right)^2$$

$$= -q_f + q_k - k_f q_f - q_k \frac{k_p}{3} \left(\frac{q_f - q_k}{q_k} \right)^2$$

$$q_f(1 + k_f) = q_k + a(h_a - h_o) - q_k \frac{k_p}{3} \left(\frac{q_f - q_k}{q_k} \right)^2$$

on obtient finalement

$$q_f = \frac{q_k + a(h_a - h_o)}{1 + k_f} - q_k \frac{k_p}{3(1 + k_f)} \left(\frac{q_f - q_k}{q_k} \right)^2$$

b) Quand q_f et q_k ont des signes contraires.

la fonction $q = q_k + \left(\frac{q_f - q_k}{2T} \right) t$

est nulle pour $\frac{t}{2T} = \frac{q_k}{(q_k - q_f)}$

Le produit $q|q|$ devient alors :

$$q|q| = + \left[q_k + \frac{(q_f - q_k)}{2T} t \right]^2 \text{ pour } 0 < t < \frac{q_k}{q_k - q_f} \cdot 2T$$

$$- \left[q_k + \frac{q_f - q_k}{2T} t \right]^2 \text{ pour } \frac{q_k}{q_k - q_f} \cdot 2T < t < 2T$$

L'intégration donne (pour $q_k > 0$, $q_f < 0$, $|q_k| > |q_f|$)

$$q|q| = -q_f q_k - \frac{(q_f - q_k)^2}{3} + \frac{2}{3} \frac{q_k^3}{(q_k - q_f)}$$

Sachant que

$$\frac{(h_o - h_a)}{2L} = -\frac{1}{gBH} \cdot \frac{(q_f - q_k)}{2T} + \frac{q_f |q_k|}{C^2 B^2 H^3} + \left[\frac{q_k^2 (q_f - q_k)}{3 q_k} - \frac{2}{3} \frac{q_k^3}{q_k - q_f} \right] \cdot \frac{1}{C^2 B^2 H^3}$$

$$a(h_o - h_a) = -q_f + q_k + q_f \frac{|q_k|}{c} + q_k \frac{|q_k|}{3c} \left[\left(\frac{q_f - q_k}{q_k} \right)^2 - \frac{2q_k}{(q_k - q_f)} \right]$$

$$= -q_f + q_k + k_f q_f + q_k \frac{k_f}{3} \left[\left(\frac{q_f - q_k}{q_k} \right)^2 - \frac{2q_k}{q_k - q_f} \right]$$

$$q_f (1 - k_f) = q_k + a(h_a - h_o) + q_k \frac{k_f}{3} \left[\left(\frac{q_f - q_k}{q_k} \right)^2 - \frac{2q_k}{q_k - q_f} \right]$$

On obtient finalement

$$q_f = \frac{q_k + a(h_a - h_o)}{1 - k_f} + q_k \frac{k_f}{3(1 - k_f)} \left[\left(\frac{q_f - q_k}{q_k} \right)^2 - \frac{2q_k}{q_k - q_f} \right]$$

Cette formule s'est montrée valable pour tous les cas où q_f et q_k sont de signes contraires.

Plus simplement on peut écrire :

$$q_f = \frac{q_k + a(h_a - h_o)}{1 + k_f} - \alpha q_k \quad \text{pour } q_f \text{ et } q_k \text{ de même signe}$$

$$q_f = \frac{q_k + a(h_a - h_o)}{1 - k_f} + \beta q_k \quad \text{pour } q_f \text{ et } q_k \text{ de signes différents}$$

Les termes αq_k et βq_k sont des corrections généralement petites.

Les coefficients α et β sont des fonctions de k_f et de $\frac{q_f}{q_k}$.

On calcule d'abord une valeur approximative de q_f , en utilisant la première partie du second membre ; ensuite on calcule q_f/q_k en prenant pour q_f la valeur trouvée en première approximation.

En partant de q_f/q_k et de k_f , on lit dans un tableau^(Ann. 65) la valeur correspondante de α (ou de β) et on calcule $-\alpha q_k$ (ou βq_k)

Généralement une approximation suffit.

Lorsque q_f/q_k devient très grand, les coefficients α et β deviennent aussi très grands ; alors on calcule la correction par rapport à q_f . En effet, on a

$$\alpha q_h = \alpha \cdot \frac{q_h}{q_f} \cdot q_f$$

$$\beta q_h = \beta \cdot \frac{q_h}{q_f} \cdot q_f$$

Un tableau ci-après (annexe 65) renseigne^(sur) les valeurs des coefficients

$$\alpha, \beta, \alpha' = \alpha \frac{q_h}{q_f}, \beta' = \beta \frac{q_h}{q_f}$$

Remarque Lorsque q_h est très petit ou égal à 0, on a $k_f \approx 0$
La formule à appliquer devient alors :

$$q_f = q_h + a(h_a - h_o) - q_f \frac{|q_f|}{3c}$$

ou, en écrivant $\frac{|q_f|}{c} = k_f'$

$$q_f = q_h + a(h_a - h_o) - q_f \cdot \frac{k_f'}{3}$$

Exemples de calcul

Supposons $h_a = 160$ $a = 6,86$

$h_o = 140$ $c = 229$ $a(h_a - h_o) = 137$

1° prenons $q_h = +300$ d'où $k_f = 1,31$

$$\text{on a } q_f = \frac{300 + 137}{2,31} = 189$$

$$\frac{q_f}{q_h} = \frac{189}{300} = 0,63 \quad \text{prenons } 0,60 \text{ d'où } \alpha = 0,03$$

$$q_f = 189 - 0,03 \times 300 = \underline{180}$$

2° prenons $q_h = +50$ d'où $k_f = 0,22$

$$q_f = \frac{50 + 137}{1,22} = 153$$

$$\frac{q_f}{q_h} = 3,06 \quad \text{prenons } 2,80 \text{ d'où } \alpha' = 0,07$$

$$q_f = 153 - 0,07 \times 153 = \underline{142}$$

3° prenons $q_h = 0$ d'où $k_f = 0$

$$q_f = \frac{0 + 137}{1} = 137$$

$$\frac{q_f}{q_h} = \infty \text{ d'où } \alpha' = 0,33, \quad k_f' = \frac{137}{229} = 0,6$$

$$q_f = 137 - 0,20 \times 137 = \underline{110} \rightarrow q_f = 137 - 0,16 \times 110 = \underline{119}$$

4° prenons $q_p = -50$ d'où $k_p = 0,22$

$$q_f = \frac{-50 + 137}{0,78} = 111$$

$$\frac{q_f}{q_p} = -2,20 \quad \text{d'où} \quad \beta' = 0,36$$

$$q_f = 111 - 0,36 \times 111 = 71$$

$$\frac{q_f}{q_p} = -1,42 \quad \text{d'où} \quad \beta = 0,50$$

$$q_f = 111 - 0,50 \times 50 = 86$$

$$\frac{q_f}{q_p} = -1,72 \quad \text{d'où} \quad \beta = 0,65$$

$$q_f = 111 - 0,65 \times 50 = 79$$

$$\frac{q_f}{q_p} = -1,58 \quad \text{d'où} \quad \beta = 0,58$$

$$q_f = 111 - 0,58 \times 50 = \underline{\underline{82}}$$

5° prenons $q_p = -100$ d'où $k_p = 0,44$

$$\frac{-100 + 137}{0,56} = 66$$

$$\frac{q_f}{q_p} = -0,66 \quad \text{d'où} \quad \beta = 0,40$$

$$q_f = 66 - 0,40 \times 100 = 26$$

$$\frac{q_f}{q_p} = -0,26 \quad \text{d'où} \quad \beta = 0 \rightarrow q_f = 66$$

évaluons q_f à 40

$$\frac{q_f}{q_p} = -0,40 \quad \text{d'où} \quad \beta = 0,14$$

$$q_f = 66 - 0,14 \times 100 = 52$$

$$\frac{q_f}{q_p} = -0,52 \quad \text{d'où} \quad \beta = 0,25 \rightarrow q_f = 66 - 25 = 41$$

$$\text{prenons } q_f = \frac{52 + 41}{2} = 46$$

$$\frac{q_f}{q_p} = -0,46 \quad \text{d'où} \quad \beta = 0,20$$

$$q_f = 66 - 0,20 \times 100 = \underline{\underline{46}}$$

6° prenons $q_p = -150$ d'où $k_p = 0,65$

q_f sera probablement aussi négatif

$$q_f = \frac{-150 + 137}{1,65} = -8$$

$$\frac{q_f}{q_p} = 0 \quad \text{d'où} \quad \alpha = 0,13$$

$$q_f = -8 + 0,13 \times 150 = \underline{\underline{+11}}$$

Influence des simplifications de la formule des débits.

a) En établissant la formule (6), nous avons pris comme terme d'accélération :

$$-\frac{1}{gBH} \frac{\partial q}{\partial t}$$

En réalité, il fallait prendre :

$$-\frac{1}{g} \frac{dv}{dt}$$

En décomposant on trouve

$$-\frac{1}{g} \frac{dv}{dt} = -\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} - \frac{1}{g} v \frac{\partial v}{\partial x}$$

Sur l'Escout, la variation $\frac{\partial v}{\partial x}$ est très petite, la valeur moyenne de v s'écartant peu de 0,60 m/sec., qui est d'ailleurs liée à la nature du lit ; le terme $\frac{1}{g} v \frac{\partial v}{\partial x}$ peut donc être considéré comme négligeable.

b) Le terme $-\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$ s'écrit :

$$-\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{gBH} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{q}{gB^2H^2} \cdot \frac{\partial(BH)}{\partial t}$$

Le terme $\frac{q}{gB^2H^2} \cdot \frac{\partial(BH)}{\partial t}$ qui avait également été négligé, peut prendre des valeurs sensiblement plus grandes que $-\frac{1}{g} v \frac{\partial v}{\partial x}$

On a
$$\frac{q}{gB^2H^2} \cdot \frac{\partial(BH)}{\partial t} \approx \frac{q}{gB^2H^2} \cdot B \cdot \frac{\partial h}{\partial t}$$

ou encore

$$= \boxed{-\frac{q}{gB^2H^2} \cdot \frac{\partial q}{\partial x}}$$

Si on introduit ce terme dans les calculs, on trouve facilement :

$$q_f = \frac{q_p + \alpha(h_a - h_o) + \frac{q}{H}(h_f - h_p)}{1 + k_p}$$

Indications générales

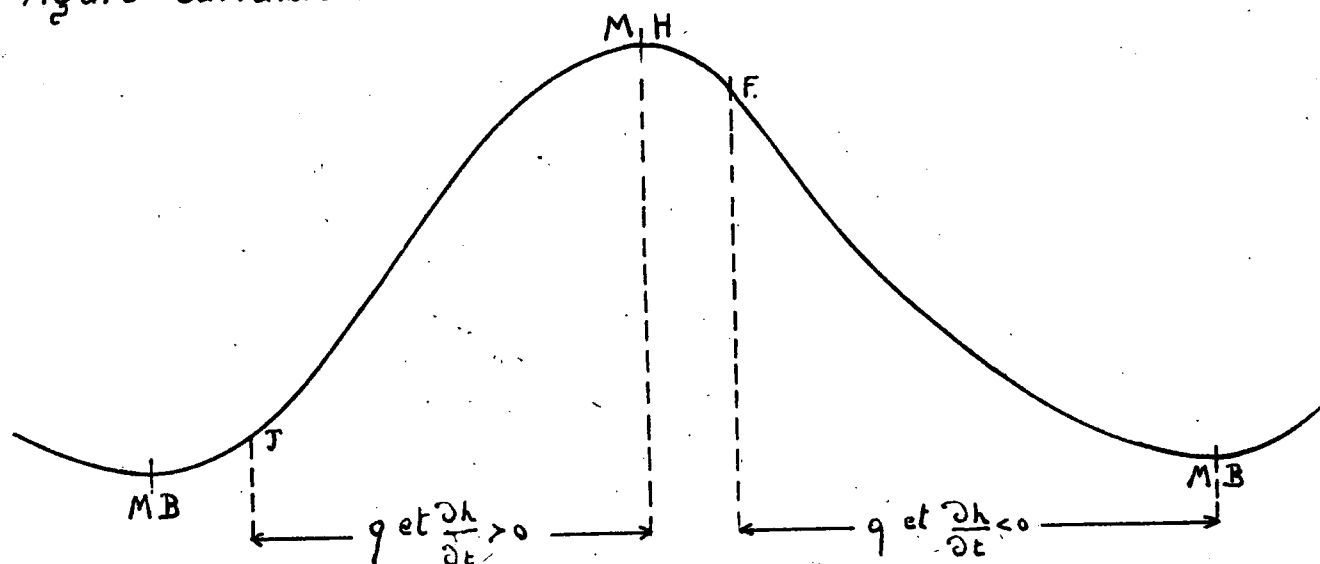
La correction $q/H (h_f - h_p)$ se calcule facilement, en estimant les valeurs de q et $(h_f - h_p)$ d'après les valeurs obtenues dans les intervalles précédents, surtout si l'on dessine les courbes au fur et à mesure de l'avancement des calculs.

Pour les valeurs de H , il faut établir des tableaux de H en fonction de la cote h dans chaque tronçon, ou bien on prend une valeur moyenne de H

Influence de cette correction

Le terme $-\frac{q}{g B^2 H^2} \cdot \frac{\partial q}{\partial x}$, ou $\frac{q}{g B^2 H^2} \cdot B \frac{\partial h}{\partial t}$ est positif

pendant presque toute la marée, comme le montre la figure suivante :



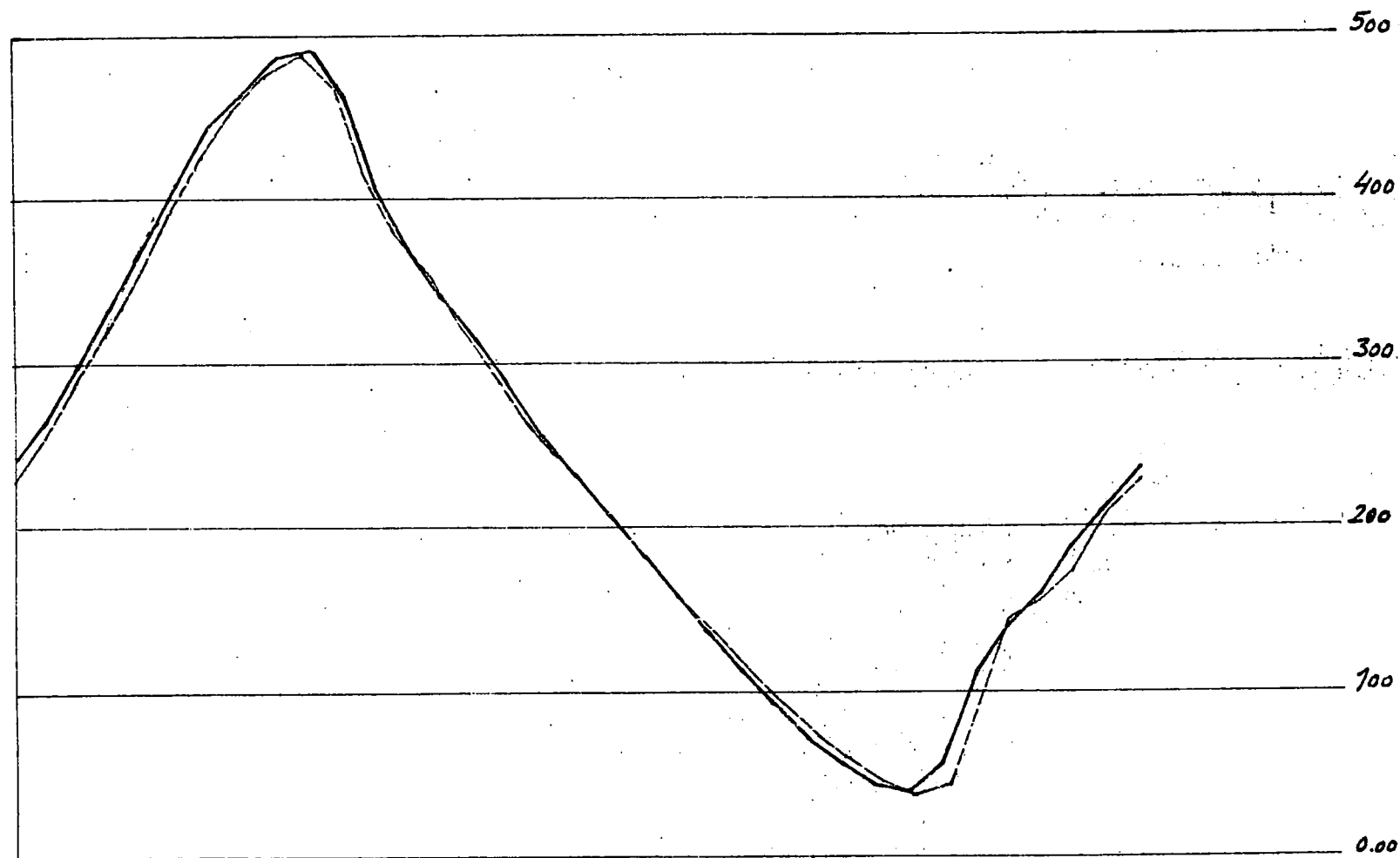
Il est négatif entre marée basse et étale de jusant, marée haute et étale de flot, soit tout au plus pendant deux heures; le produit $q \frac{\partial h}{\partial t}$ est d'ailleurs petit pendant ces périodes.

A marée haute et marée basse la correction est nulle, $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$

La correction affectera donc ^{très peu} la cote et l'heure de M.H. et M.B., mais donnera un relèvement des cotes vers la mi-marée; la courbe marée deviendra donc plus "volumineuse".

Cela se confirme d'ailleurs par les résultats des calculs.

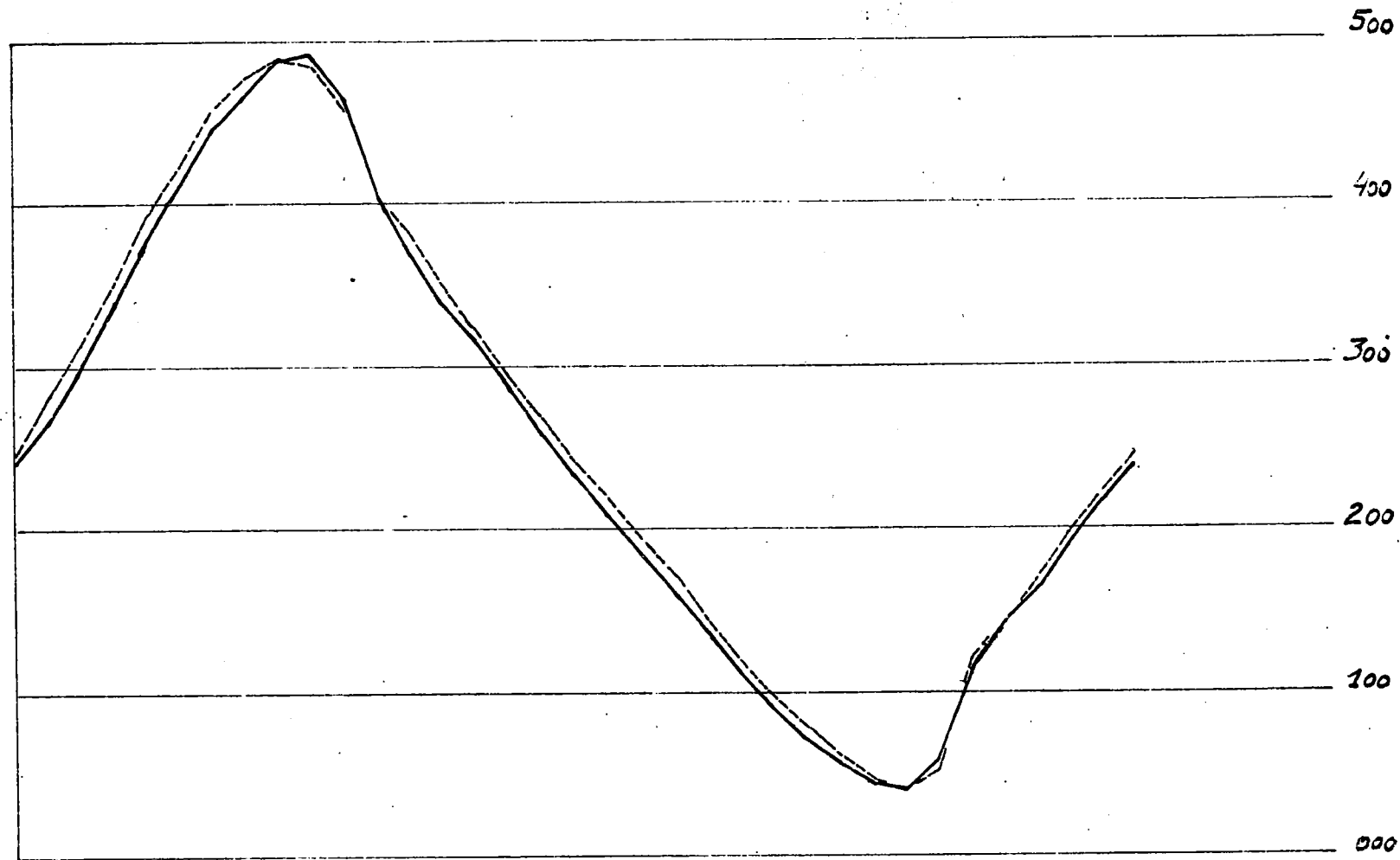
Marée moyenne



——— COURBE-MARÉE PROFIL 8 CALCULÉE AU CH. II
 - - - - - " " " " CALCULÉE AU CH. I

CH I, CH II : Il s'agit des chapitres du rapport

Marée moyenne



——— COURBE-MARÉE PROFIL 8 CALCULÉE AU CH. II

----- " " " CALCULÉE EN TENANT COMPTE
DES TERMES "DE BERNOULLI"

CH II = Il s'agit du chapitre II du rapport

WATERBOUW-ONDERZOEKSLABORATORIUM

De Wijk, 118

BORGERMEESTER - ANTWERPEN

Tel. 925.45

LE CALCUL DU MOUVEMENT NON PERMANENT DANS LES RIVIÈRES PAR LA MÉTHODE DITE DES « LIGNES D'INFLUENCE »

par

H. HOLSTERS

Ingénieur des Ponts et Chaussées de Belgique



Extraits de la Revue Générale de l'Hydraulique, N° 37 (Janvier-Février), 38 (Mars-Avril), 39 (Mai-Juin)
40 (Juillet-Août) et 41 (Septembre-Octobre 1947)

REVUE GÉNÉRALE DE L'HYDRAULIQUE

116, Avenue d'Orléans, PARIS-14^e

—
1948

LE CALCUL DU MOUVEMENT NON PERMANENT DANS LES RIVIÈRES PAR LA METHODE DITE DES « LIGNES D'INFLUENCE »

Dans ce mémoire, qui résume de façon fort concise les résultats de plusieurs années de recherches, M. H. HOLSTERS, Ingénieur des Ponts et Chaussées de Belgique, a su très ingénieusement mettre à profit une méthode d'intégration graphique des équations aux dérivées partielles exposée par feu le Professeur J. MASSAU, dans une série d'articles parus de 1900 à 1905 dans les Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Ecoles spéciales de Gand. Dans ces écrits Massau montre que (nous citons les Annales précitées, tome IV, page 65, année 1905) « dans les problèmes de la mécanique appliquée qui dépendent d'équations aux dérivées partielles, les conditions aux limites présentent des discontinuités, que ces discontinuités se propagent suivant les caractéristiques et que la solution d'un problème de cette espèce s'obtient en divisant le domaine des variables en compartiments et en déterminant une solution analytique pour chaque compartiment. Dans le cas de deux variables indépendantes, les fonctions inconnues sont représentées par des assemblages de surfaces analytiques analogues aux polyèdres à faces planes ou curvilignes, les faces adjacentes se coupant ou se touchant selon l'ordre des caractéristiques de séparation ».

L'intégration graphique consiste dans le calcul, de proche en proche, et par différences finies assez petites, des fonctions inconnues (h et q par ex. si nous nous limitons au cas du mouvement non permanent dans les cours d'eau, h étant la cote atteinte par la surface libre et q le débit) aux nœuds d'un réseau suffisamment serré, formé de lignes caractéristiques engendrées par les discontinuités des courbes-limites. Rigoureusement parlant, le tracé des caractéristiques dépend de la profondeur moyenne et de la vitesse du courant, éléments qui varient tous les deux avec le temps.

A M. Holsters revient le mérite d'avoir montré sur de nombreux exemples que, pour les écoulements non permanents tout au moins, l'on obtient une approximation très satisfaisante en adoptant, comme base du calcul, un réseau de lignes caractéristiques (qu'il appelle « lignes d'influence », dénomination qui les distingue des tracés rigoureusement exacts) correspondant à une vitesse de courant nulle et à une profondeur invariable dans le temps. Pour les rivières maritimes, par exemple, il est naturel de choisir la profondeur moyenne du profil sous la cote de mi-marée.

Il établit ainsi une méthode de calcul très pratique, qui conduit au résultat avec une rapidité et une facilité surprenantes pour quiconque possède quelque expérience des problèmes de l'hydraulique des fleuves à marée, lesquels problèmes sont généralement fort complexes, même si l'on s'en tient au seul mouvement des eaux. Cette méthode s'applique avec une égale aisance aux mouvements purement périodiques (régime moyen de la marée et modifications apportées à ce régime par l'exécution de divers travaux) comme aux phénomènes transitoires (crues) et aux questions les plus difficiles qui peuvent se présenter en cette matière, notamment la prédétermination de l'abaissement des cotes de marée haute, que l'on obtient avec des réservoirs inondables, et du volume d'eau recueilli dans les dits réservoirs. C'est dire que la méthode est susceptible aussi de rendre de grands services lors d'études pour l'établissement d'installations pour l'emploi de la force des marées et, si l'on se rapporte aux écrits de Massau, on constate que son champ d'application dépasse même largement le cadre des écoulements non permanents.

Un des caractères les plus saillants du mémoire de M. Holsters est son souci constant des besoins immédiats de la pratique, besoins dont il est particulièrement bien averti étant donné sa connaissance approfondie des multiples problèmes que posent l'Escaut maritime et ses affluents soumis à marée.

Signalons, pour terminer, la belle étude comparative du Chapitre IV où sont confrontés les résultats, d'une part, de calculs conduits selon la méthode de l'auteur et, d'autre part, d'essais sur modèle réduit exécutés au Laboratoire de Recherches Hydrauliques des Ponts et Chaussées de Belgique, à Bongerhout-Anvers.

J. LAMOEN,

Ingenieur principal des Ponts et Chaussées de Belgique,
Directeur du Laboratoire de Recherches Hydrauliques,
Maître de Conférences à l'Université libre
de Bruxelles.

INTRODUCTION

Dans l'Hydraulique des écoulements à surface libre, il existe un grand nombre de problèmes qui doivent être résolus en tenant compte de la variabilité dans le temps du niveau d'eau et de la vitesse du courant.

Citons, comme exemples :

- les crues dans les rivières supérieures,
- la propagation des marées dans les fleuves maritimes,
- les perturbations résultant des manœuvres hydrauliques, de l'influence du vent, des inondations, etc.

Jusqu'à présent il n'existe pas encore de méthode générale pour résoudre ces problèmes qui, tous, sont régis par les équations différentielles du mouvement non-permanent.

Le but de la présente étude est d'exposer une nouvelle méthode de calcul qui, comme le montreront les exemples numériques, permet dans bien des cas d'arriver à une solution satisfaisante.

Nous nous sommes partiellement appuyés, pour établir cette méthode, sur certaines idées exposées dans une étude due au professeur J. Massau de l'Université de Gand, intitulée « Mémoire sur l'intégration graphique des équations aux dérivées partielles », qui a paru aux *Annales de l'A. I. G.* en 1900.

Le premier chapitre sera consacré à l'exposé de la théorie de Massau d'abord, de la nouvelle méthode — que nous appellerons « Méthode des lignes d'influence » — ensuite.

Dans le second chapitre nous donnerons quelques exemples d'application :

- influence d'une augmentation de débit sur un régime uniforme,
- calcul de la marée moyenne dans un fleuve maritime,
- calcul des marées extraordinaires ou marées-tempête.

— influence du barrage d'un affluent sur le régime d'un fleuve maritime,

— influence des endiguements.

Cette série d'exemples, de plus en plus compliqués, nous mène au problème très intéressant des réservoirs de marée ou « potpolders » traité au Chap. III. Voici le problème : étant donnée une rivière à marée munie d'une série de digues-déversoirs, quels seront les volumes déversés pendant une marée donnée, et quelles seront les cotes de marée haute ?

Jusqu'à présent ce problème, qui est d'une grande actualité pour les rivières du bassin de l'Escaut Maritime, où de nombreux potpolders ont été prévus pour combattre les inondations dues aux marées-tempête, a toujours été traité expérimentalement. Au Chap. IV nous montrerons qu'il y a parfaite concordance entre les résultats calculés et ceux obtenus en Laboratoire sur des modèles réduits.

CHAPITRE I

METHODE DES LIGNES D'INFLUENCE

§ 1. — NOTATIONS

Nous utiliserons les notations suivantes :

- x , abscisse ou cumulée d'une section, comptée positivement vers l'amont. L'axe des x est horizontal ; son origine coïncide avec l'embouchure du cours d'eau considéré.
- t , temps.
- h , niveau d'eau ou cote, par rapport à un plan de comparaison horizontal.

- q , débit, compté positivement vers l'amont. Le débit de flot est donc positif, celui de jusant négatif.
 B , largeur de surface de la section mouillée.
 H , profondeur moyenne de la section mouillée.
 v , vitesse moyenne du courant, obtenue en divisant le débit q par la surface de la section mouillée BH .
 V , célérité ou vitesse de propagation.
 C , coefficient de Chézy.
 g , accélération de la pesanteur.
 T , intervalle de temps.
 L , longueur du tronçon.

§ 2. — EQUATIONS DE MOUVEMENT

Nous supposons, comme on le fait généralement, que le mouvement se fait par « tranches », c'est-à-dire que la vitesse en tout point d'une section égale la vitesse moyenne $v = q : BH$. Une tranche élémentaire du liquide subit alors les forces suivantes (abstraction faite de l'influence du vent dont nous parlerons plus loin) :

- la différence de pression sur ses faces, différence qui est proportionnelle à la pente superficielle $\partial h / \partial x$;
- la force d'inertie, proportionnelle à l'accélération dv/dt ;
- la résistance de frottement, proportionnelle en valeur absolue au carré de la vitesse, et agissant en sens inverse de celle-ci.

En exprimant l'équilibre de ces forces, on obtient l'équation « dynamique »

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{dv}{dt} - \frac{v^2}{C^2 H} \quad (1)$$

qui indique que la pente superficielle se compose d'une pente d'inertie et d'une pente de frottement.

Dans ce qui suit nous utiliserons l'équation (1), qui est très difficile à intégrer, sous la forme simplifiée

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{1}{gBH} \frac{\partial q}{\partial t} - \frac{q^2}{C^2 B^3 H^3} \quad (1')$$

obtenue en tenant compte de la relation $v = q/BH$ et en négligeant quelques termes toujours petits du développement de la dérivée totale dv/dt .

Comme il y a deux fonctions inconnues, le niveau d'eau h et le débit q , il nous faut une deuxième équation. C'est l'équation de « continuité »

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{1}{B} \frac{\partial q}{\partial x} \quad (2)$$

On l'obtient en considérant deux sections fixes d'entre-distances dx , et en exprimant que l'accroissement de volume pendant une période élémentaire dt est en même temps proportionnel à la différence $\partial q / \partial x$ entre les débits amont et aval, et au gradient $\partial h / \partial t$.

Notons que dans nos équations la pente de fond n'intervient pas, du fait que nous rapportons le niveau

d'eau h à un plan de comparaison horizontal, et non au fond du cours d'eau.

§ 3. — THÉORIE DE MASSAU

Le calcul du mouvement non-permanent est difficile à un double point de vue; d'abord par la complexité des équations différentielles à intégrer, ensuite par l'irrégularité foncière des conditions aux limites introduites.

Nous ne nous attarderons pas à la première difficulté; le grand nombre de méthodes d'intégration jusqu'ici proposées — entre autres celles d'Airy, de Saint-Venant, Bonnet, Brown, Lorentz, Mazure — en témoigne suffisamment. Aucune de ces méthodes ne donne une solution générale convenant à tous les problèmes de la pratique.

Mais même si l'intégration exacte était possible, on se heurterait presque toujours à la seconde difficulté, celle de l'introduction des conditions aux limites.

A ce propos il convient de citer le passage suivant du mémoire de Massau :

« En analyse, on suppose les fonctions holomorphes (régulières) ou développables par la formule de Taylor en série convergente dans un certain domaine. Les courbes arbitraires que l'on se donne dans les problèmes relatifs à la science de l'Ingénieur ne possèdent pas cette propriété. Prenons, par exemple, la courbe des débits d'une rivière. Si le mouvement est permanent, le débit est constant; si une crue survient, la courbe des débits est formée d'une droite et d'une courbe; la fonction qu'elle représente est évidemment irrégulière. Si même l'on ne considère que la courbe des débits pendant la crue, elle représente aussi une fonction irrégulière; car, si le débit était une fonction développable, connaissant le plus petit arc AB de la courbe des débits, on pourrait calculer toutes les dérivées, écrire le développement et déterminer toute la courbe. Or, la courbe qui suit l'arc AB dépend des manœuvres hydrauliques, de la persistance des pluies et de bien des circonstances qui sont indépendantes de l'arc AB. Tout ce que l'on peut supposer, c'est de pouvoir remplacer une courbe arbitraire de cette espèce par un polygone ou une suite d'arcs, chacun des fragments étant la représentation d'une fonction holomorphe. Aux points de jonction il y a alors des discontinuités dans les dérivées premières ou d'ordre supérieur. »

De quelle façon peut-on, dans ces conditions, concevoir le calcul du mouvement non-permanent?

Dans ce qui suit nous résumerons, sans entrer dans des détails trop abstraits, le raisonnement par lequel Massau, en utilisant la théorie générale des équations aux dérivées partielles, parvient à résoudre ce problème.

a) Surfaces intégrales. — Caractéristiques

Soient $h = h(x, t)$
 $q = q(x, t)$

les intégrales indéfinies des équations du mouvement. Ces intégrales deviennent des intégrales définies si on se donne les conditions aux limites, par exemple

$$\begin{aligned} h_0 &= h(0, t) \\ q_0 &= q(0, t) \end{aligned}$$

courbes des hauteurs et des débits à l'embouchure de la rivière (abscisse $x = 0$).

Nous pouvons représenter les fonctions ainsi déterminées par des surfaces intégrales, obtenues en portant verticalement sur un plan horizontal $x-t$, soit la hauteur h soit le débit q en chaque point x, t . Si les courbes-limites se composent d'une série de fragments analytiques, chacun de ces fragments donnera lieu à une surface intégrale. Ces différentes surfaces se coupent entre elles suivant des caractéristiques qui représentent la propagation des discontinuités existant dans les courbes-limites.

Raisonnons sur un exemple simple.

Soit une rivière à régime uniforme, le débit étant constant et la pente superficielle étant égale à la pente de fond i . A partir d'un instant déterminé t_0 , provoquons par une manœuvre quelconque — par exemple en fermant un barrage d'aval — la formation d'une onde de translation. Soit, sur la figure 1, dessinée en perspective, oh l'axe des hauteurs, ox l'axe des abscisses, et ot l'axe des temps. A l'embouchure $x = 0$, la courbe des h locale est représentée par le polygone $AA_0B_0C_0$, dont la partie horizontale AA_0 correspond au mouvement uniforme initial, tandis qu'à partir de A_0 commence le relèvement de niveau résultant de la fermeture du barrage.

La surface intégrale, ou surface hydraulique, du mouvement initial est un plan S_1 passant par la droite AA_0 .

La première surface hydraulique du mouvement ondulatoire, dont la forme ne nous intéresse pas pour le moment, est une surface S_2 qui coupe le plan $x = 0$ suivant le premier fragment A_0B_0 de la courbe de relèvement.

Les deux surfaces S_1 et S_2 se coupent suivant la caractéristique A_0N qui est la ligne de discontinuité engendrée par la discontinuité de la courbe-limite en A_0 ; qui, en d'autres termes, représente la propagation de la perturbation créée en A_0 par la fermeture du barrage. En langage einsteinien la caractéristique A_0N est la « ligne vitale », ou la trajectoire dans le continuum espace-temps, de la perturbation créée en A_0 .

Notons que la surface hydraulique peut être considérée comme étant engendrée par les axes hydrauliques (*) instantanés, ou par les courbes des h locales. Nous avons représenté les axes hydrauliques, obtenus en coupant par des plans $t = \text{constant}$, par des traits pleins, et les courbes locales (intersections avec des plans $x = \text{constant}$) par des traits interrompus.

(*) Axe hydraulique: terme employé en Belgique pour désigner la ligne d'eau ou courbe de remous d'une rivière.

La discontinuité qui existe en A_0 peut être caractérisée par le fait que dans ce point il existe deux valeurs différentes du gradient $\partial h / \partial t$ soit celui de AA_0 , soit celui de A_0B_0 ; en somme la différentielle partielle $\partial h / \partial t$ y est indéfinie. Sur la figure 1 on voit que dans chaque point de la caractéristique A_0N cette propriété existe non seu-

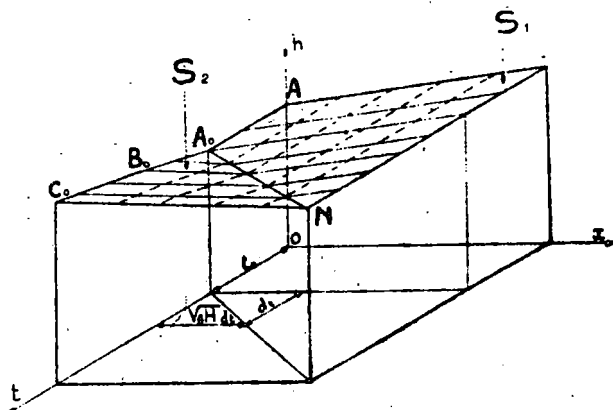


FIG. 1.

lement pour la dérivée $\partial h / \partial t$ (brisure dans les courbes locales), mais aussi pour la dérivée $\partial h / \partial x$ (changement de pente des axes hydrauliques).

De même, en raisonnant sur les surfaces des débits $q(x, t)$, nous aurions trouvé que le long des caractéristiques les dérivées partielles $\partial q / \partial x, \partial q / \partial t$ sont indéfinies.

b) Equation des caractéristiques.

Comme nous l'avons montré sur l'exemple de la figure 1, les caractéristiques engendrées par les discontinuités des courbes-limites polygonales se définissent mathématiquement par la propriété que les dérivées partielles

$$\frac{\partial h}{\partial x}, \frac{\partial h}{\partial t}, \frac{\partial q}{\partial x}, \frac{\partial q}{\partial t}$$

y sont indéfinies.

Considérons le système suivant:

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial t} \frac{1}{gBH} + \frac{q/q}{C^2 B^3 H^3} = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} \frac{1}{B} = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} dx + \frac{\partial h}{\partial t} dt = dh$$

$$\frac{\partial q}{\partial x} dx + \frac{\partial q}{\partial t} dt = dq$$

Les deux premières équations sont les équations de mouvement écrites de façon à mettre en évidence les dérivées partielles; les deux autres sont les relations absolument générales qui lient les différentielles totales aux dérivées partielles.

Pour trouver l'équation des caractéristiques il suffit de

rechercher dans quelles conditions le système écrit plus haut en $dh/dx, dh/dt, dq/dx$ et dq/dt , donne une solution indéfinie.

Or, par la théorie élémentaire des systèmes de n équations à n inconnues, nous savons que la solution est indéfinie si tous les déterminants de la matrice des coefficients s'annulent.

Ecrivons cette matrice:

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{1}{gBH} & \frac{q/q'}{C^2B^2H^3} \\ 0 & 1 & B & 0 & 0 \\ dx & dt & 0 & 0 & -dh \\ 0 & 0 & dx & dt & -dq \end{vmatrix}$$

Le déterminant obtenu par suppression de la cinquième colonne nous donne

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{1}{gBH} \\ 0 & 1 & B & 0 \\ dx & dt & 0 & 0 \\ 0 & 0 & dx & dt \end{vmatrix} = 0$$
$$-\frac{1}{B} (dt)^2 + \frac{1}{gBH} (dx)^2 = 0$$

$\frac{dx}{dt} = \pm \sqrt{gH}$

 (3)

L'équation (3) montre qu'il existe deux sortes de caractéristiques:

- les caractéristiques d'aval $dx = +\sqrt{gH} dt$ (3)', correspondant à la propagation des discontinuités d'aval en amont;
- les caractéristiques d'amont $dx = -\sqrt{gH} dt$ (3)", correspondant à la propagation d'amont en aval.

Dans le cas de la figure 1 nous avons considéré une perturbation — la première manifestation d'une onde de relèvement — se dirigeant d'aval en amont; il y correspond une caractéristique d'aval. Par contre, la première manifestation d'une crue d'amont donnera lieu à une caractéristique d'amont. Enfin, une perturbation surgissant dans une section quelconque — résultant par exemple de la rupture d'une digue — engendrera deux caractéristiques, une d'aval et une d'amont.

Les quatre autres déterminants, obtenus en supprimant la 1^{re}, 2^e, 3^e ou 4^e colonne de la matrice, nous donnent quatre relations qui, en tenant compte de (3), se ramènent à une seule, notamment

$$dh = \mp \frac{dq}{B\sqrt{gH}} - \frac{q/q'}{C^2B^2H^3} dx \quad (4).$$

ou à-dire

$$dh = - \frac{dq}{B\sqrt{gH}} - \frac{q/q'}{C^2B^2H^3} dx \quad (4)'$$

avec $dx = +\sqrt{gH} dt$

$$dh = + \frac{dq}{B\sqrt{gH}} + \frac{q/q'}{C^2B^2H^3} dx \quad (4)''$$

avec $dx = -\sqrt{gH} dt$.

c) Utilisation des caractéristiques pour le calcul du mouvement non-permanent.

Soit, sur la figure 2a, $A_0A_1A_2...A_n$ un polygone qui remplace l'axe hydraulique initial $h(x,0)$ d'un mouve-

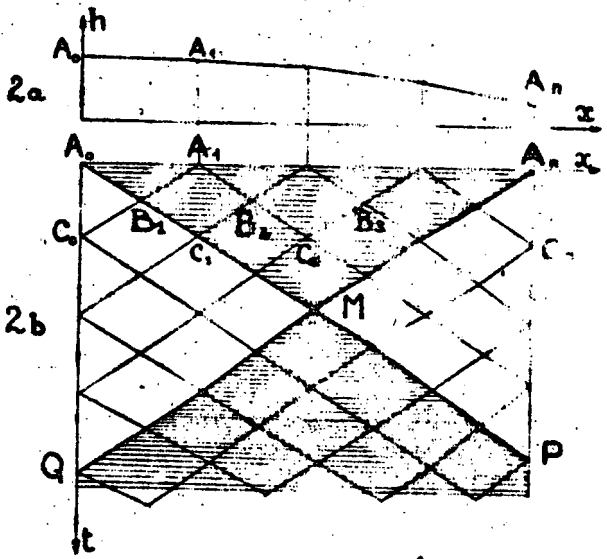


FIG. 2. a. et b.

ment non-permanent quelconque. Tout angle de ce polygone engendre, comme nous l'avons vu, deux caractéristiques, une d'aval et une d'amont, les points A_0 et A_n (extrémités aval et amont) exceptés où il n'y a qu'une caractéristique. Elles sont dessinées en projection sur la figure 2b.

Considérons le point B_1 , intersection de la caractéristique d'aval A_0B_1 , engendrée par A_0 avec la caractéristique d'amont A_1B_1 , engendrée par A_1 . Supposons que l'entredistance A_0A_1 soit relativement petite; alors les coordonnées x et t du point B_1 peuvent être déduites des relations,

$$x - x_{A_0} = +\sqrt{gH} (t - t_{A_0})$$
$$x - x_{A_1} = -\sqrt{gH} (t - t_{A_1}).$$

obtenues en remplaçant les différentielles des équations (3)' et (3)'' par des différences finies.

Soient h_{A_0} et q_{A_0} , h_{A_1} et q_{A_1} les niveaux et les débits respectivement en A_0 et A_1 ; soient h et q les quantités correspondantes, inconnues, en B_1 .

Appliquons respectivement sur A_0B_1 et A_1B_1 les équations (4)' et (4)" en substituant les différences finies aux différentielles.

Il vient :

$$h - h_{A_0} = - \frac{q - q_{A_0}}{B\sqrt{gH}} - \frac{\left(\frac{q + q_{A_0}}{2}\right) \left| \frac{q + q_{A_0}}{2} \right|}{C^2 B^2 H^3} (x - x_{A_0})$$

$$h - h_{A_1} = + \frac{q - q_{A_1}}{B\sqrt{gH}} - \frac{\left(\frac{q + q_{A_1}}{2}\right) \left| \frac{q + q_{A_1}}{2} \right|}{C^2 B^2 H^3} (x - x_{A_1})$$

Ces deux équations forment un système qui, résolu par rapport à h et q , permet de calculer ces quantités en fonction de h_{A_0} , q_{A_0} , h_{A_1} et q_{A_1} .

En appliquant le même procédé pour les points B_2 , B_3 , ..., C_1 , C_2 , ... et en introduisant les conditions aux limites pour les points tels que C_0 , on voit qu'il est possible de calculer la cote et le débit en tout point du plan $x-y$, c'est-à-dire dans une section quelconque à un instant quelconque, et ceci avec une approximation d'autant plus grande que le réseau de caractéristiques est plus serré.

§ 4. — REMARQUES CONCERNANT LA THÉORIE DE MASSAU

Les équations de mouvement que nous avons utilisées sont des équations simplifiées.

Aussi nos résultats diffèrent-ils légèrement des formules exactes de Massau.

Ainsi, la loi de propagation exacte s'écrit

$$V = \frac{dx}{dt} = \pm \sqrt{gH} + v \quad (5);$$

c'est la loi bien connue de la propagation des ondes longues d'amplitude infiniment petite.

La relation (5) montre que la célérité d'une perturbation est en valeur absolue plus grande à la descente qu'à la remonte du courant, ce qui est d'ailleurs évident.

Lorsque la vitesse du courant v est plus grande que \sqrt{gH} , les perturbations d'aval ne peuvent plus remonter le courant; alors les conditions d'aval ne peuvent plus influencer le régime. C'est le cas du régime torrentiel.

Dans ce qui suit nous nous occuperons uniquement des régimes fluviaux, où la vitesse du courant est plus petite que \sqrt{gH} , et généralement même négligeable par rapport à cette quantité; et nous nous en tiendrons à la loi approximative $V = \pm \sqrt{gH}$.

Mais même avec les formules simplifiées que nous avons établies au § précédent, la méthode de Massau est trop compliquée pour la pratique; pour chaque point il faut passer par quatre opérations, dont deux sont quadratiques, et dont les coefficients sont variables dans l'espace et dans le temps.

Inutilisable en pratique, la théorie de Massau est pourtant d'une grande fécondité au point de vue théorique, dont témoigne la grande diversité des problèmes traités dans le mémoire précité.

Comme exemple, citons le problème du ressaut varié. On sait que dans certaines circonstances l'axe hydraulique d'un mouvement permanent se compose de deux branches différentes reliées par un élément vertical, le ressaut. Si l'on fait varier les circonstances d'aval ou d'amont, le ressaut deviendra mobile; c'est le ressaut varié. Massau en a étudié les conditions d'apparition et les lois de propagation; comme cas particulier, il retrouve évidemment le ressaut ordinaire, onde stationnaire qui a tendance à remonter le courant mais n'y parvient pas.

Un autre problème, qui s'apparente à celui du ressaut varié, est constitué par l'apparition, dans certaines conditions, du mascaret. Pour montrer, sans entrer dans les détails, comment Massau a résolu ce problème si difficile, reprenons l'exemple de la figure 1, traité au § précédent. Il s'agit d'un mouvement uniforme, perturbé par un relèvement de niveau à l'aval. Soit $(\partial h / \partial t)_0$ le gradient de la ligne A_0B_0 qui représente la première partie de la courbe de relèvement. Le long de la caractéristique A_0N suivant laquelle la première manifestation de l'onde se propage, le gradient $\partial h / \partial t$ des courbes de relèvement locales peut ou bien croître ou bien décroître. Au moyen des formules de Massau on peut calculer la loi de variation de ce gradient. Dans certaines circonstances ce gradient devient infini, autrement dit la courbe de relèvement présente un élément vertical, et il y a apparition d'un onde finie. Par des calculs assez compliqués on trouve la condition suivante:

$$\frac{\partial h}{\partial t} \text{ devient infini, si } \left(\frac{\partial h}{\partial t}\right)_0 > G,$$

$$\text{où } G = \frac{v}{3C^2H} (v + 2\sqrt{gH}) (\sqrt{gH} - v).$$

Assimilons maintenant le mouvement uniforme initial au mouvement quasi-permanent qui existe à la fin de la marée descendante dans un fleuve maritime, et la courbe $A_0B_0C_0$ au gagnant de la courbe marée à l'embouchure. La relation écrite plus haut nous montre avec quelle vitesse $(\partial h / \partial t)_0$ la mer doit monter pour qu'il se produise un mascaret dans le fleuve. Soit par exemple $C = 50$, $v = 0,50$ m/sec, $H = 2$ m; on aura $G = 4,40$ mètres par heure. Il faut donc que la mer monte de plus de 4,40 m heure pour que le mascaret puisse se produire. Notons en passant que Massau a également trouvé une formule permettant de calculer l'abscisse de la section où le mascaret se formera.

Nous avons détaillé un peu plus ce dernier exemple, parce que la même solution a été retrouvée une trentaine d'années plus tard par l'ingénieur français M. Massé qui a consacré une étude au problème du mascaret publiée dans la *Revue Générale de l'Hydraulique* en 1936 (n° 9).

Ceci montre combien Massau était en avance sur ses contemporains, et combien est injuste l'oubli presque total d'où nous espérons avoir tiré son mémoire sur l'intégration graphique des équations aux dérivées partielles.

§ 5. — MÉTHODE DES LIGNES D'INFLUENCE

En reprenant certaines des notions fondamentales de Massau, notamment celle des courbes-limites irrégulières à remplacer par des polygones, et celle de la propagation des discontinuités ainsi introduites, nous avons cherché à établir une nouvelle méthode de calcul qui, à l'encontre de celle de Massau, est pratiquement applicable.

a) Lignes d'influence.

Considérons (figure 2) un écoulement non-permanent dont sont données :

- la situation initiale ($t=0$), c'est-à-dire la cote et le débit dans les points A_0, A_1, \dots, A_n de l'axe hydraulique initial;
- les circonstances d'aval (points A_0, C, \dots)
- les circonstances d'amont (points A_n, C, \dots).

Comme nous l'avons vu la méthode de Massau nous permet, théoriquement du moins, de calculer h et q dans chacun des nœuds du réseau formé par les trajectoires $dx = \pm \sqrt{gH} dt$ engendrées par les discontinuités des courbes-limites.

La figure 2 nous montre que le plan $x-t$ peut être divisé en différentes zones.

Considérons d'abord la zone hachurée A_0MA_n ; tous les points de cette zone peuvent être calculés à partir de la situation initiale sans faire intervenir les circonstances d'amont ni d'aval. Cette zone est donc uniquement déterminée par la situation initiale.

Les circonstances d'aval exercent leur influence seulement sur la zone à gauche de la trajectoire A_nMP , cette trajectoire correspondant à la première perturbation venant de l'aval.

La zone influencée par l'amont se trouve à droite de A_nMQ , trajectoire de la première perturbation d'amont.

Enfin la zone hachurée qui se trouve au-dessous de M subit en même temps l'influence de la situation initiale et des circonstances d'aval et d'amont.

Considérons maintenant le point M .

La zone hachurée A_0MA_n peut être considérée comme le passé absolu de M , tous les événements situés dans cette zone contribuant plus ou moins à la formation de la situation (cote h et débit q) dans ce point.

D'autre part la zone QMP est le futur absolu de M , ensemble des événements qui seront influencés par la situation en M ; h_M et q_M intervenant directement ou indirectement pour le calcul de tout point de cette zone.

La zone non hachurée est la zone neutre par rapport à M ; c'est l'ensemble des points qui n'ont aucune influence sur la situation en M , et ne peuvent être influencés par celle-ci.

De ces considérations, il résulte que les trajectoires délimitent les différentes zones d'influence : zone influençante, zone influencée, zone neutre. C'est pourquoi nous appellerons ces trajectoires des *lignes d'influence*.

b) Réseaux de lignes d'influence.

Comme dans la méthode de Massau, nous calculerons h et q dans les nœuds d'un réseau formé de lignes d'influence engendrées par les discontinuités des courbes-limites (polygones).

La profondeur moyenne H qui intervient dans l'équation différentielle $dx = \pm \sqrt{gH} dt$ de ces lignes d'influence est une fonction de l'abscisse x , et de la cote h , qui, elle-même, est variable dans le temps. Cette double variabilité entraîne de grandes complications pour le tracé du réseau.

Pour éliminer cette difficulté nous représentons par des réseaux réguliers, tels que celui de la figure 3, que l'on obtient de la façon suivante :

1° on subdivise l'axe des temps par des intervalles T constants,

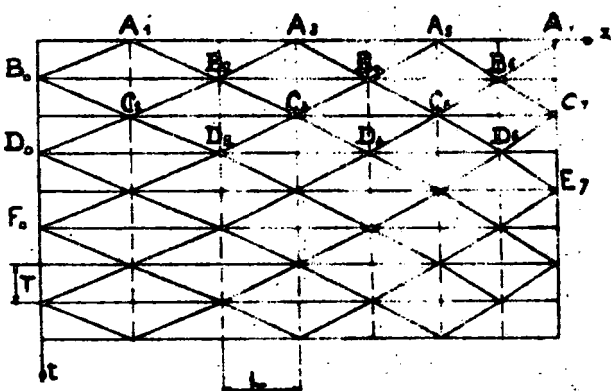


FIG. 3.

2° on subdivise l'axe des abscisses en tronçons dont la longueur L satisfait à la relation

$$L = \sqrt{gH} T,$$

H étant la valeur moyenne de H dans le tronçon considéré; pour une rivière à marée par exemple,

on prendra pour h la profondeur moyenne sous la cote de mi-marée. Cette valeur moyenne doit évidemment être évaluée, mais généralement une approximation grossière suffit.

Le réseau ainsi défini satisfait approximativement à l'équation $dx = \pm \sqrt{gH} dt$ des lignes d'influence, et ses nœuds sont alignés horizontalement de façon à former des axes hydrauliques instantanés $t = \text{constante}$, et verticalement de façon à former des courbes locales $x = \text{constante}$ (voir fig. 3).

c) Application des équations de mouvement.

Considérons un quadrangle quelconque du réseau de la figure 3. Désignons-le par le schéma suivant :



Par rapport au point central K considéré comme « ici, maintenant », le point A se trouve en aval, le point O en amont, le point P dans le passé, le point F dans le futur :

	Passe	
Aval	ici, maintenant	amont
	Futur	

La distance AO, qui est la somme des longueurs de deux tronçons adjacents, sera notée $2L$. L'intervalle de temps PF vaut évidemment $2T$.

Supposons que les dimensions $2L$ et $2T$ du quadrangle APOF soient relativement petites, et appliquons les équations du mouvement non permanent au point K, en passant des différentielles aux différences finies. Il vient :

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{h_o - h_a}{2L}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{h_f - h_p}{2T}$$

$$\frac{\partial q}{\partial x} = \frac{q_o - q_a}{2L}$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{q_f - q_p}{2T}$$

$$q'q'' = \frac{q_f - q_p}{2} \left| \frac{q_f + q_p}{2} \right| \quad \text{ou } q_p / (v \dots)$$

et les équations de mouvement deviennent

$$\frac{h_o - h_a}{2L} = \frac{1}{gBH} \frac{q_f - q_p}{2T} \quad \text{et} \quad \frac{h_f - h_p}{2T} = \frac{1}{B} \frac{q_o - q_a}{2L}$$

En résolvant par rapport à h_f et q_f , on trouve :

$$q_f = \frac{q_p + a(h_a - h_o)}{1 + b} \quad (6)$$

$$h_f = h_p + \frac{q_a - q_o}{b} \quad (7)$$

$$\text{avec } a = \frac{gBHT}{L}; \quad b = \frac{BL}{T}; \quad h_p = \frac{q_p}{c}; \quad c = \frac{C^2BH^2}{2gT}$$

Ces formules s'appliquent de la façon suivante. Soient données comme conditions aux limites (voir fig. 3) :

la cote h aux points B_o, D_o, F_o, \dots

le débit q aux points A_f, C_f, E_f, \dots

la cote h aux points B_f, B_o, B_a, \dots

le débit q aux points A_i, A_o, A_a, \dots

Considérons le quadrilatère $B_o A_i B_f C_i$; h_{B_o}, h_{B_f} et q_{A_i} étant donnés, la formule (6) nous permet de calculer q_{C_i} . Le point C_i correspondant au point F du schéma APOF. Par le même procédé on trouve q_{B_f} et q_{B_o} .

Considérons maintenant un des quadrilatères de la rangée suivante, par exemple $C_i B_f C_o D_o$. En C_i et C_o , q vient d'être calculé, en B_f la cote est donnée; l'application de (7) nous donne immédiatement la cote en D_o . Même procédé pour D_i, D_o, \dots

En général on applique donc les formules (6) ou (7) à des quadrilatères dont trois éléments sont connus, pour calculer le quatrième; on calcule les débits aux sections impaires $A_i, C_i, E_i, \dots, A_o, C_o, E_o, \dots$ au moyen de (6) et les cotes aux sections paires $B_f, D_f, F_f, \dots, B_o, D_o, F_o, \dots$ au moyen de (7).

Remarque :

La substitution $q_k/q_k' = q_f/q_p'$ est permise lorsque q_f et q_p' ont le même signe et que la différence $q_f - q_p'$ est relativement petite, ce qui est généralement le cas du fait que l'intervalle $2T$ qui sépare les points F et P est petit par définition.

Soit par exemple: $q_f = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

$q_p' = 12 \text{ m}^3/\text{s}$

On aura $q_k = \frac{12 + 10}{2} = 11$

$q_k/q_k' = 11/11 = 121$

$q_f/q_p' = 10/12 = 120$

Mais la substitution n'est plus permise lorsque q_f et q_p' ont des signes différents, c'est-à-dire lorsqu'on se trouve aux environs d'un état de courant. Dans ce cas-là, on appliquera, au lieu de (6), la formule suivante :

$$q_f = q_p + a(h_a - h_o) + \frac{1}{2} (q_f - q_p) \quad (8)$$

L'inconnue q_t se calcule par approximations successives. comme première approximation on prend

$$q_t = q_p + a(h_a - h_o).$$

§ 6. — CALCUL DES VARIATIONS

Soient $h(x,t)$ et $q(x,t)$ les cotes et les débits d'un écoulement non-permanent quelconque. Ces deux fonctions sont déterminées par :

- les conditions aux limites: aval, amont, situation initiale;
- les forces agissantes: pesanteur, inertie, frottement;
- les dimensions du lit: largeur B , profondeur moyenne H .

Si un de ces facteurs subit un petit changement ou variation, l'écoulement s'en ressentira et subira aussi de variations que nous noterons

$\eta(x,t)$ pour les cotes,

$\gamma(x,t)$ pour les débits.

Pour exposer le principe de calcul de ces variations, considérons le cas où seules les conditions aux limites sont changées. Appliquons successivement les équations de mouvement au nouveau régime $(h+\gamma, q+\gamma)$ et à l'ancien régime (h,q)

$$\frac{\partial(h+\gamma)}{\partial x} = -\frac{1}{gBH} \frac{\partial(q+\gamma)}{\partial t} - \frac{(q+\gamma)/q+\gamma}{C^2 B^3 H^3}$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{1}{gBH} \frac{\partial q}{\partial t} - \frac{q/q}{C^2 B^3 H^3}$$

$$\frac{\partial(h+\gamma)}{\partial t} = -\frac{1}{B} \frac{\partial(q+\gamma)}{\partial x}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{1}{B} \frac{\partial q}{\partial x}$$

Retranchons membre à membre, en remarquant que γ^2 est négligeable, étant du second ordre:

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{1}{gBH} \frac{\partial \gamma}{\partial t} - \frac{2\gamma/q}{C^2 B^3 H^3}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{1}{B} \frac{\partial \gamma}{\partial x}$$

Appliquons enfin ces équations à la maille élémentaire



de notre réseau de lignes d'influence, comme nous l'avons fait pour (1)' et (2) au § 5; nous trouvons finalement:

$$\gamma_t = \frac{\gamma_p(1-k) + a(\eta_a - \eta_o)}{1+k} \quad (9)$$

$$\eta_t = \eta_p + \frac{\gamma_a - \gamma_o}{b} \quad (10)$$

$$\text{avec } a = \frac{gBHT}{L} \quad b = \frac{BL}{T} \quad k = \frac{gT/q_t + q_p}{C^2 B^3 H^3}$$

Ces formules sont tout à fait analogues à (6) et (7), et s'appliquent de la même façon. Nous en donnerons d'ailleurs un exemple détaillé au chapitre suivant:

§ 7. INFLUENCE DU VENT

Normalement la pente superficielle d'un écoulement à surface libre est déterminée par la force d'inertie et par la résistance de frottement.

Dans certaines conditions il intervient un autre facteur: l'influence atmosphérique.

Cette influence se fait sentir de deux façons:

- par la différence de pression barométrique entre deux sections,
- par le frottement du vent sur la surface du fleuve.

Si, dans une section A, la pression barométrique est de 760 mm, et dans une section B de 761, l'eau montera — indépendamment des autres facteurs — environ 13 mm plus haut en A qu'en B.

Mais, comme la différence de pression entre deux sections, même éloignées, d'un même fleuve, n'est jamais bien grande, il ne faut pas en tenir compte. Sera-t-elle même grande, son influence serait complètement masquée par l'influence du vent: violent auquel cette différence de pression donnerait naissance.

L'action du vent donne lieu à une situation assez complexe: la distribution verticale des vitesses en est complètement bouleversée. Si le vent souffle dans la direction du courant, les couches supérieures sont accélérées par rapport aux couches inférieures. Dans le cas contraire les couches supérieures sont freinées par rapport aux couches inférieures; parfois même, il peut se créer un contre-courant. En tout cas, pour vent dirigé d'aval en amont, il se produit à la longue un relèvement général du niveau d'eau par rapport à la situation normale.

L'influence du vent peut être calculée plus ou moins en introduisant dans le second membre de l'équation dynamique, qui contient déjà les pentes d'inertie et de frottement, un terme nouveau j_v ; la pente j_v étant celle qui se produirait sous l'influence du vent dans une eau stationnaire ayant même largeur, même profondeur et même configuration des rives que le fleuve considéré. Dans ces conditions, l'équation (1)' s'écrit:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{1}{gBH} \frac{\partial q}{\partial t} - \frac{q/q}{C^2 B^3 H^3} + j_v \quad (11).$$

On peut en déduire, par le procédé du § 5, une formule analogue à (6):

$$q_t = \frac{q_p + a(h_a - h_o + 2j_v L)}{1+k_p} \quad (12).$$

Comme l'influence du vent est en général petite par rapport au frottement et à l'inertie, on peut, pour un régime donné, calculer directement les « sur-hau-

teurs η et les « sur-débits » γ , en appliquant les principes du § 6.

On trouve:

$$\gamma_e = \frac{\gamma_D (1 - k) + \alpha(\eta_a - \eta_o) + 2j_e L}{1 + k} \quad (13);$$

pour trouver les η la formule (10) reste valable.

Il reste à définir la valeur de j_e . Très souvent on la suppose inversement proportionnelle à la profondeur moyenne H , proportionnelle au carré de la vitesse du vent ω , et au cosinus de l'angle ϕ compris entre la direction du vent et celle du courant, d'après la formule:

$$j_e = \alpha \frac{\omega^2 \cos^2 \phi}{H} \quad (14),$$

où α est un coefficient assez mal connu qui dépend principalement de la configuration générale du fleuve. Pour un plan d'eau pratiquement illimité (Zuyderzee) α vaut environ 0,036 (j_e étant exprimé en centimètres par kilomètre, ω en mètres par seconde, H en mètres). Lorsque la largeur ne peut plus être considérée comme infinie, α se réduit fortement (voir Ch. II, § 6).

§ 8. — REMARQUES CONCERNANT LE COEFFICIENT DE CHÉZY

Le coefficient C est celui de la formule bien connue de Chézy:

$$v = C \sqrt{R},$$

où R est le rayon hydraulique

Dans nos formules nous avons systématiquement remplacé R par la profondeur moyenne H qui en diffère très peu.

Prenons par exemple une section trapézoïdale de 5 m de hauteur, 30 m de largeur au plafond, talus 12/4.

Nous aurons:

$$\text{largeur en surface: } B = 30 + 2,15 = 60 \text{ m.}$$

$$\text{section mouillée: } \frac{60 + 30}{2} \cdot 5 = 225 \text{ m}^2,$$

$$\text{périmètre mouillé: } 30 + 2 \cdot \sqrt{5^2 + 15^2} = 61,6 \text{ m.}$$

$$\text{profondeur moyenne: } H = \frac{225}{60} = 3,75 \text{ m.}$$

$$\text{rayon hydraulique: } R = \frac{225}{61,6} = 3,66 \text{ m.}$$

La différence n'est que de 0,09 m, soit 2,5 %.

D'ailleurs, dans les cas où la différence serait notable, on peut la compenser en calculant avec C' tel que

$$C' \sqrt{H} = C \sqrt{R}.$$

Le coefficient C n'est pas une constante, mais varie

avec la rugosité et la profondeur de la rivière. Une des meilleures formules est celle de Bazin:

$$C = \frac{87}{1 + \gamma/\sqrt{H}}$$

où γ est le coefficient de rugosité.

Bazin donne comme valeur maximum:

$$\gamma = 1,75 \text{ pour « canaux en terre présentant une résistance proportionnelle »}$$

Pour les rivières du bassin de l'Escaut Maritime, nous avons presque toujours trouvé qu'il fallait des γ plus grands (ordre de grandeur 3) pour obtenir la concordance avec les observations marégraphiques.

Cette différence doit probablement être imputée au fait que le coefficient de rugosité à utiliser dans le calcul englobe, en outre de la rugosité propre du lit, la rugosité apparente résultant de l'irrégularité des profils en travers, et des pertes de charge dans les courbes.

1°) Irrégularités des profils:

Considérons un tronçon prismatique de longueur L , à section constante $\Omega = BH$, écoulant un débit constant q .

La perte de charge due au frottement sera:

$$\Delta h = \frac{v^3}{C^2 H} L = \frac{q^3}{C^2 B^3 H^3} L \quad (a)$$

Considérons maintenant un tronçon de même longueur, même profondeur, même débit, mais où la largeur B' oscille entre les valeurs extrêmes $(1+k)B$ et $(1-k)B$, présentant par exemple n élargissements et n rétrécissements.

La largeur moyenne sera

$$\frac{n(1+k)B + n(1-k)B}{2n} = B.$$

Les dimensions générales seront donc les mêmes que pour le cas considéré précédemment, mais la perte de charge sera plus grande; en effet:

$$\Delta h' = \int_0^L \frac{v^3}{C^2 H} dx = \frac{q^3}{C^2 H^3} \int_0^L \frac{1}{B'^2} dx$$

ce qui donne, après intégration:

$$\Delta h' = \frac{q^3}{C^2 B^3 H^3} L \cdot \frac{1+k^2}{(1-k^2)^2}$$

Supposons que la largeur oscille de 30 % de part et d'autre de la moyenne: nous aurons $k = 0,3$, d'où

$$\frac{1+k^2}{(1-k^2)^2} = 1,31$$

donc

$$\Delta h' = \frac{q^3}{C^2 B^3 H^3} L \cdot 1,31 \quad (b)$$

Si nous continuons à utiliser la relation (a), nous trouverons la valeur exacte de la perte de charge h_f qu'en adaptant notre coefficient de Chézy; nous devrons calculer au moyen d'un C' tel que

$$\Delta H = \frac{q^2}{C'^2 B^3 H^3} L, \text{ d'où, par comparaison avec } \Delta H = \frac{q^2}{C^2 B^3 H^3} L$$

$$C'^2 = C^2 / 1,31$$

$$C' = 0,87C$$

Soit $H = 5$ m, et supposons que C ait été déduit de la formule de Bazin avec $\gamma = 1,75$:

$$C = \frac{87}{1 + 1,75 \sqrt{5}} = 48,8$$

Nous trouverons pour γ' , rugosité apparente pour le tronçon à largeur variable:

$$C' = 0,87C = 42,5 = \frac{87}{1 + \gamma' / \sqrt{5}} \text{ d'où } \gamma' = 2,36.$$

On voit donc que, si la largeur d'un tronçon n'est pas constante, la rugosité apparente est plus grande que celle qui correspond uniquement à la rugosité propre du lit. Le même raisonnement s'applique d'ailleurs pour la variabilité des profondeurs.

Nous avons considéré ici un mouvement permanent; pour un mouvement non-permanent on raisonnera sur les valeurs moyennes de q , B et H .

2°) Pertes de charge dans les courbes:

Quand l'eau, en sortant d'une partie rectiligne, entre dans une courbe, il en résulte un changement dans la distribution des vitesses qui donne lieu à des pertes d'énergie. La pente superficielle supplémentaire qui y correspond est proportionnelle au carré de la vitesse du courant, tout comme la pente de frottement. La présence de parties courbes dans un tronçon déterminé augmentera donc la rugosité apparente. Mais, comme la différence est généralement minime, nous ne donnerons pas d'exemple numérique.

Ces considérations peuvent avoir de l'importance dans le cas où il s'agit de calculer l'influence de certains travaux. La rugosité n'est pas toujours la même avant et après les travaux. Si, par exemple, on remplace un lit très irrégulier par un lit prismatique, il faudra compter avec une rugosité réduite.

CHAPITRE II

APPLICATIONS DIVERSES

§ 1. — MODIFICATION D'UN RÉGIME PERMANENT

Considérons une rivière écouant en régime uniforme un débit de $250 \text{ m}^3/\text{sec}$. On demande de calculer l'influence d'une augmentation de débit de $50 \text{ m}^3/\text{sec}$, les données étant

- largeur constante $B = 100$ m,
- profondeur constante $H = 5$ m,
- la rivière débouche dans un bassin à niveau invariable,
- sa longueur est de $29,4$ km,
- le coefficient de Chézy vaut $C = 50$ (vannes m et sec).

La variation du débit étant relativement petite nous effectuons un « calcul de variation »; nous calculerons les variations produites par l'introduction du débit supplémentaire en appliquant les formules (9) et (10).

Prenons T égal à 10 minutes; L sera égal à

$$L = T \sqrt{gH} = 600 \sqrt{9,81 \cdot 5} = 4.200 \text{ m.}$$

Il en résulte les subdivisions du tableau I. L'axe des x est subdivisé en tronçons 0-I, I-II, ... de longueur L . L'axe des temps est subdivisé en intervalles 0-1, 1-2, ... de durée T .

Un nœud quelconque du réseau sera indiqué par ses deux coordonnées en prenant comme unité respectivement L et T . Ainsi (III, 5) indiquera la section III (abscisse $12,6 \text{ km} = 3L$) à l'instant 5 ($\text{min} = 5T$).

Les formules à appliquer sont (9) et (10).

Calculons d'abord les coefficients, qui sont ici des constantes:

$$a = \frac{gBHT}{L} = \frac{gBHT}{T \sqrt{gH}} = B \sqrt{gH} = 100 \sqrt{9,81 \cdot 5} = 700$$

$$b = \frac{BL}{T} = B \sqrt{gH} = a = 700$$

$$c = \frac{C^2 B H^3}{2gT} = \frac{2.500 \cdot 100^3 \cdot 25}{2 \cdot 9,81 \cdot 600} = 531$$

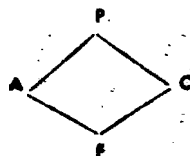
$$k = \frac{1/q}{c} = \frac{250}{531} = 0,47.$$

Substituons, après avoir divisé a et b par 100 afin d'obtenir les η en centimètres:

$$\eta_t = \frac{(1 - 0,47) \eta_p + 7(\eta_a - \eta_o)}{1 + 0,47} = \frac{0,36 \eta_p + 4,77 (\eta_a - \eta_o)}{1,47} \quad (9)$$

$$\eta_t = \eta_p + \frac{\eta_a - \eta_o}{7} \quad (10).$$

les indices se rapportant au schéma



Les valeurs initiales ($t=0$) de η et γ sont nulles. Elles le restent, dans une section quelconque, jusqu'à l'instant où la perturbation arrive dans la section considérée. Nous avons donc $\eta = 0$, $\gamma = 0$ le long de la ligne d'influence (VII, 0) — (0, 7) indiquée en trait plein au tableau I.

Isolons maintenant le losange (V,2) - (VI,1) - (VII,2) - (VI,3). Marquons les quantités connues aux sommets correspondants (pour plus de clarté les cotes sont soulignées) :



L'inconnue, ici la cote en (VI,3), se calcule immédiatement en appliquant (10) :

$$\eta = 0 + \frac{0 - 50(-50)}{7} = 7.1 \text{ cm.}$$

En descendant suivant la ligne d'influence nous rencontrons le losange (IV,3) - (V,2) - (VI,3) - (V,4) :



L'inconnue, le débit en (V,4) se calcule immédiatement au moyen de (9) :

$$\gamma = 0.36.0 + 4.77 \cdot (0 - 7.1) = -34 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Le procédé est donc extrêmement simple : on considère des losanges dont trois sommets sont connus, on calcule le quatrième par (9) si l'inconnue est un débit, par (10) s'il s'agit d'une cote.

En poursuivant le calcul, on trouve finalement les chiffres du tableau I, d'où l'on peut déduire — éventuellement par inter- ou extrapolation — soit l'axe hydraulique instantané à un instant quelconque (horizontale), soit la courbe locale dans une section quelconque (verticale).

En examinant le tableau on voit qu'un nouveau régime permanent s'établit pratiquement vers la subdivision 21 de l'axe des temps ($t = 21$; $T = 210 \text{ min.}$), puisque les cotes ne diffèrent presque plus de leur valeur asymptotique qui correspond à $t = \infty$ (dernière ligne du tableau). Le changement de régime considéré demande donc une période de transition de 3 à 4 heures.

Remarques :

a) Considérons sur la trajectoire (VII,1) - (0,9) deux points quelconques d'entredistance $2L$, par exemple (IV,5) et (VI,3). En appliquant les formules (9) et (10) sous leur forme algébrique, on trouve :

$$\eta(V,1) = \frac{a - \eta(V,3)}{1 + k} = \eta(V,3)$$

$$\eta(V,3) = \frac{\eta(V,1)}{b}$$

D'où

$$\eta(V,1) = \frac{a}{(1+k)b} \quad \eta(V,3) = \frac{\eta(V,1)}{1+k}$$

$$(1+k)\eta(V,3) = \eta(V,1)$$

$$\frac{\eta(V,1) - \eta(V,3)}{\eta(V,3)} = k$$

Cette relation subsiste lorsqu'on rend l'intervalle infiniment petit, et devient alors

$$\frac{d\eta}{\eta} = - \frac{gdt/q}{C^2BH^3} = - \frac{v/\sqrt{gH}}{C^2H^2} dx,$$

ce qui donne par intégration

$$\eta = \eta_0 e^{-\beta(x-x_0)}, \text{ avec } \beta = - \frac{v/\sqrt{gH}}{C^2H^2}$$

exprimant l'amortissement exponentiel de l'onde initiale (ou « front d'onde ») le long de sa trajectoire.

b) L'exemple traité ici a été choisi le plus simple possible, afin de montrer clairement la marche des calculs. Dans des cas plus compliqués — profondeurs, largeurs, débits variables — la méthode des lignes d'influence s'applique exactement de la même façon. Seulement les coefficients a , b et k seront variables, ce qui n'introduit aucune difficulté essentielle (voir Ch. IV, § 4).

§ 2. — MARÉE FLUVIALE MOYENNE

Le régime d'un fleuve maritime dépend de la marée à son embouchure et de la courbe des débits d'amont.

Ces facteurs ne sont pas invariables. L'amplitude, et même la forme des courbes-marée change constamment d'après la position de la lune et du soleil, et d'après la force et la direction du vent. Le débit d'amont dépend des pluies, des manœuvres hydrauliques, etc...

Pour se donner une idée du régime normal, il faut donc considérer la marée moyenne, conditionnée par la marée moyenne de la mer et par le débit d'amont moyen.

Les conditions aval et amont étant connues, cette marée moyenne peut se calculer au moyen de la méthode des lignes d'influence, à condition de connaître la situation initiale.

Mais comme il s'agit d'un cycle fermé, le même phénomène se répétant indéfiniment, il n'y a pas de situation initiale. Autrement dit : la situation initiale est arbitraire ; quoiqu'elle puisse avoir été à l'instant $t = -\infty$, son influence a depuis longtemps disparu. Nous pouvons donc la choisir librement, à la seule condition qu'elle soit physiquement possible.

Le plus simple est de prendre comme point de départ le régime permanent déterminé par le débit d'amont et par la cote de basse mer à l'embouchure. En laissant jouer la marée à partir d'un instant déterminé, on trouve par le calcul un régime qui s'écarte graduellement du

régime permanent initial pour coïncider finalement avec le régime de marée (voir Ch. IV, § 3).

Le calcul de la marée moyenne s'impose lorsqu'on veut creuser une voie d'eau nouvelle soumise à marée, ou bien lorsqu'on se propose de transformer une rivière à marée existante. Rappelons que, d'après le § 8 du Ch. I, le coefficient de rugosité doit être déterminé en tenant compte de la nature du lit et de sa forme générale.

Dans les deux cas le calcul permettra de se rendre compte d'avance si le nouveau régime sera viable, c'est-à-dire si, en chaque section, la vitesse moyenne générale ne s'écarte pas trop de la vitesse moyenne d'équilibre compatible avec la nature du lit. Pour l'Escaut, cette vitesse d'équilibre, pour laquelle il n'y a pas d'érosions ni ensablements notables, est d'environ 0,60 m/sec.

§ 3. — MARÉE-TEMPÊTE

Les marées extraordinaires ou marées-tempêtes dépassent souvent largement les marées ordinaires. Pour des rivières nouvelles, ou pour des rivières existantes à aménager, il importe donc de calculer d'avance les cotes maxima afin de pouvoir apprécier le danger d'inondation.

Pour les cours d'eau étroits et sinueux l'influence directe du vent est négligeable; les calculs se conduisent comme pour la marée moyenne en prenant comme conditions aux limites la marée-tempête à l'embouchure et une crue d'amont.

Il en est autrement pour les bras de mer et les fleuves très larges, à tracé concordant sensiblement avec la direction des vents de tempête. Nous avons vu au Ch. I de quelle façon on peut tenir compte de cette influence.

La méthode des lignes d'influence peut encore utilement être employée pour résoudre le problème suivant:

Dans son état actuel une rivière à marée est sujette à des inondations lors des marées-tempête, par suite de l'insuffisance des digues. Si on empêche les inondations en renforçant et rehaussant les digues, les cotes de marée haute s'élèveront évidemment, parce qu'il restera plus d'eau dans le lit proprement dit. Quelles seront les cotes de marée haute après l'endigement complet?

Dans le cas où l'on possède des diagrammes de marée-tempête les calculs se simplifient considérablement. On remarque en effet que les diagrammes de marée présentent une allure sinusoïdale jusqu'à un certain point, pour devenir à peu près horizontales après, les eaux se déversant latéralement. On peut donc se contenter de compléter ces courbes, en partant de la situation non encore perturbée immédiatement avant le début des inondations. De cette façon le calcul ne s'étend que sur une période de quelques heures, alors qu'avec les autres méthodes d'intégration il faudrait calculer un cycle-marée complet.

Remarque:

Pour certaines rivières on peut étudier l'influence du vent et celle des inondations en se basant uniquement sur les observations marégraphiques. Nous parlerons de cette méthode, qui est assez simple, au § 6.

§ 4. — INFLUENCE DU BARRAGE D'UN AFFLUENT

Considérons un fleuve F et un de ses affluents f soumis à marée (fig. 4). Soient $h(x,t)$ et $q(x,t)$ les cotes et les débits dans le fleuve. Nous nous proposons de cal-

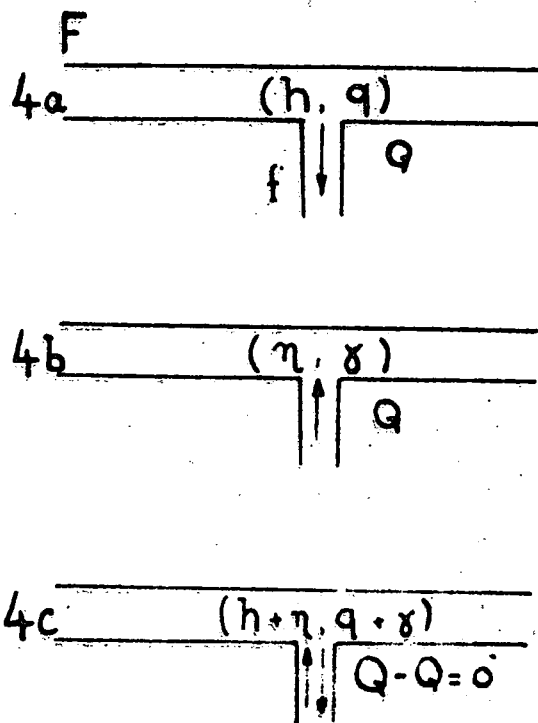


FIG. 4.

culer le nouveau régime qui existera dans le fleuve après le barrage de son affluent.

Soit $Q(t)$ la courbe des débits de l'affluent à son embouchure dans le fleuve, préalablement déterminée au moyen d'une cubature.

Pendant la période de flot, l'affluent enlève le débit Q (variable) au détriment du fleuve, et il le restitue pendant le jusan. Après barrage l'affluent n'enlèvera ni ne restituera plus rien; tout se passera donc comme si nous renvoyions à chaque moment le débit Q dans le fleuve pendant le flot, ou dans l'affluent pendant le jusan. Pour obtenir le nouveau régime il suffit donc de superposer à l'ancien le régime perturbateur (η, δ) résultant de l'introduction dans le fleuve du débit latéral Q , ce débit étant positif pendant le flot et négatif pendant le jusan.

On le voit d'ailleurs clairement sur la figure 4:

— 4a représente le régime (h, q) avant le barrage.

- 4b représente le régime perturbateur (η, γ).
- 4c représente la superposition ($h + \eta, q + \gamma$) de ces deux régimes, le débit de l'affluent étant $+Q - Q = 0$.

L'introduction du débit $Q(t)$, qui est une fonction périodique, donne lieu à la perturbation périodique (η, γ). On la calcule au moyen des formules du Ch. I. § 6.

Comme ^{conclusions} conclusions aux limites on a :

$$\eta = 0 \text{ à l'embouchure du fleuve}$$

$$\gamma = 0 \text{ à son extrémité supérieure.}$$

puisque le barrage de l'affluent n'affecte ni le niveau de la mer, ni le débit d'amont.

En ce qui concerne la situation initiale, puisqu'il s'agit d'un régime périodique, elle est arbitraire. On supposera par exemple $\eta = 0, \gamma = 0$; le régime périodique s'établira après une certaine période de transition.

Comment introduire le débit latéral Q dans les calculs? Considérons le schéma



et supposons que la section PF coïncide avec le confluent. Normalement le relèvement de niveau (pendant la période $2T$) $\eta_a - \eta_o$ est proportionnel à la différence des débits aval et amont $\gamma_a - \gamma_o$, d'après la formule (10). Mais si le débit Q est introduit latéralement, il contribuera aussi au relèvement du niveau, de sorte qu'au lieu de (10) nous devons appliquer

$$\eta_a = \eta_o + \frac{\gamma_a - \gamma_o + Q}{b} \quad (10)'$$

Dans les autres sections, où il n'y a pas d'apport latéral, la formule à appliquer est évidemment (10)

En ce qui concerne le résultat des calculs nous donnerons quelques chiffres au § 6.

§ 5. — INFLUENCE DE L'ENDIGUEMENT DES SCHORRES

Le long de certains fleuves à marée il existe de vastes étendues de terres qui sont seulement submergées vers la marée haute, que nous indiquerons par leur nom flamand de « schorres ».

Lorsque ces schorres sont devenues « mûres », c'est-à-dire lorsqu'elles atteignent une certaine cote, on les endigue parfois pour en faire des polders.

Comme les schorres jouent le rôle de réservoir latéral, surtout pour les marées-tempête, leur endiguement pourra parfois influencer désavantageusement le régime fluvial.

Le calcul de cette influence est tout à fait analogue au problème du § précédent.

En effet, le schorre enlève un certain volume d'eau pendant la marée montante, pour le restituer pendant la marée descendante. Le régime perturbateur, η, γ résultant de l'endiguement correspond donc à la restitution du débit Q précédemment enlevé (ou inversement). Soit $h(t)$ la courbe-marée locale et F la superficie des schorres; le débit à introduire latéralement sera donné par

$$Q = F \frac{dh}{dt} = F \frac{h_c - h_p}{2T}$$

La seule différence avec le problème du barrage d'un affluent résulte du fait que les schorres ne sont submergées que pendant une certaine partie du cycle-marée (vers marée haute). Le débit perturbateur Q sera donc intermittent; il s'annulera quand l'eau se trouve en dessous de la cote des schorres. Alors que le barrage d'un affluent affecte en même temps la marée haute et la marée basse; en faisant monter la première et descendre la seconde, l'endiguement des schorres fera surtout monter la marée haute, et n'affectera presque pas la marée basse.

§ 6. — QUELQUES APPLICATIONS CONCERNANT LES RIVIÈRES DU BASSIN DE L'ESCAUT

L'Escaut Maritime s'étend, depuis son embouchure dans la Mer du Nord jusqu'au barrage de Gentbrugge qui arrête la marée, sur une longueur d'environ 160 km. (voir fig. 5).

Ses affluents, le Rupel et la Durme, sont également soumis à marée. Le Rupel a une longueur de 11,5 km. Il est formé par le confluent de la Nèthe et de la Dyle. La Nèthe est formée à la jonction de la Grande et de la Petite Nèthe, tandis que la Dyle a comme affluent la Senne. La Durme a une longueur de 26 km, elle est formée par la jonction Moervaart et de la Zuidlede. Tous ces cours d'eau subissent l'influence de la marée.

L'Escaut et ses affluents ont des débits d'amont minimes; l'action de la marée a une influence prépondérante sur la formation et l'entretien de leur lit. Aussi l'étude des travaux à exécuter sur ces différents cours d'eau doit-elle être basée sur une connaissance approfondie du régime de la marée fluviale.

Au Laboratoire Hydraulique du Ministère des Travaux Publics à Anvers, un modèle de l'Escaut a été construit à une échelle assez grande; les essais en cours ont déjà donné de précieuses indications concernant l'influence de certains travaux.

D'autre part nous avons effectué des calculs concernant les marées de l'Escaut; dans ce qui suit, nous donnerons quelques-uns des résultats obtenus, en les comparant, autant que possible, aux résultats expérimentaux.

a) Barrage de la Durme.

La Durme est une rivière à régime essentiellement maritime. Dans les dernières décades elle a montré une nette tendance à l'ensablement. La cause principale en est que la majeure partie du débit supérieur de cette rivière est détournée pour alimenter le canal Gand-Terneuzen (voir fig. 5). En outre, le niveau de marée basse monte continuellement à cause de l'ensablement, ce qui aggrave la situation; l'évacuation du bassin hydrographique devient de plus en plus difficile, ce qui fait diminuer encore le débit d'amont.

D'autre part, les marées-tempête provoquent parfois de graves inondations à cause de l'insuffisance des digues, dont l'entretien et le renforcement nécessitent néanmoins des dépenses énormes.

Il y a plusieurs moyens de remédier à ce double inconvénient.

Pour le moment nous ne considérons que la solution

Voici ce que l'application de la méthode indiquée au § 3 nous a donné pour ce qui concerne la marée moyenne:

1°) la marée haute montera, la marée basse descendra: il y aura donc une augmentation générale des amplitudes:

Poste	Lillo	Amvers	Hemiksem
Δ amplit. en cm. cal.	0	+ 6	+ 15
res. exp.	+ 6	+ 4	+ 15

	Tielrode	Termonde	Contbrugge
Tamise	emb. Durme		
+ 29	+ 35	+ 22	+ 10
+ 26	+ 30	+ 34	+ 24

On voit que les chiffres calculés (première ligne) correspondent assez bien avec les chiffres expérimentaux.

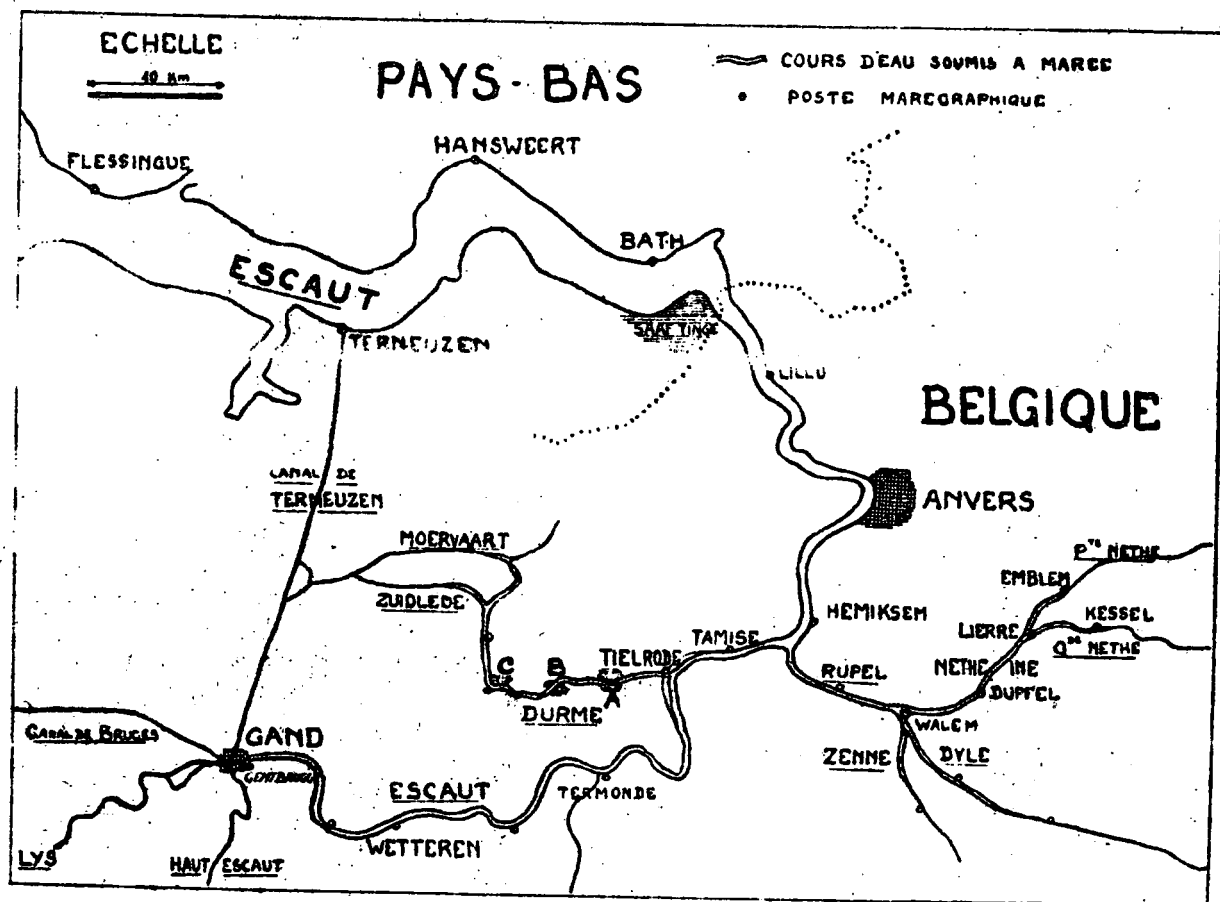


Fig. 5.

la plus simple: la fermeture de la Durme par un barrage éclusé. La rivière canalisée ne s'ensablerait plus; les marées-tempête n'entreraient plus, donc plus de frais d'entretien des digues.

Mais cette opération un peu brutale aurait des répercussions sur le régime de l'Escaut, que nous avons essayé de déterminer quantitativement.

2°) Dans la partie située en amont de l'embouchure de la Durme (Tielrode) les courants deviendront plus intenses, par suite de l'augmentation des amplitudes, c'est-à-dire de la puissance hydraulique. La vitesse moyenne générale y augmentera d'environ 8 % à Tielrode (amont), 6 % à Termonde. Il y aura donc amélioration du régime dans cette partie-là de l'Escaut.

3°) Mais dans l'Escaut en aval de Tielrode, il y aura des ensablements à craindre.

En effet, considérons une section immédiatement en aval de Tielrode. Avant le barrage il y passe pendant la période de flot le volume destiné à remplir la partie amont de l'Escaut plus le volume de flot de la Durme; le volume total peut-être évalué à $13.000.000 + 3.600.000 = 16.700.000 \text{ m}^3$. Après le barrage il n'y passera plus que le débit de flot de l'Escaut, qui peut être évalué, compte tenu de l'augmentation des amplitudes, à environ $14.200.000 \text{ m}^3$. Il y aura donc une perte de débit, et partant, de vitesse de $16.700.000 - 14.200.000 = 2.500.000 \text{ m}^3$ ou 14 %. Cette réduction de vitesse va en s'atténuant vers l'aval; elle est de 8 % à Tamise, de 2 % à Hemizem pour devenir insignifiante à Anvers.

b) Influence de l'endiguement des schorres de Saaftinge

La partie aval de l'Escaut, qui se trouve en territoire néerlandais, se présente comme un véritable estuaire, large de plusieurs kilomètres.

Près de la frontière cet estuaire est bordé d'immenses terrains qui sont submergés par la marée haute. Ce sont les terres inondées ou *schorres* de Saaftinge (voir fig. 5), formées par les anciens polders de Saaftinge et de Namèn.

Le re-endiguement éventuel de ces schorres constitue un sujet de controverse assez épineux; d'une part, il permettrait aux Pays-Bas de récupérer une superficie assez considérable, mais d'autre part il pourrait avoir une influence néfaste sur le régime de l'Escaut.

Sous la cote +476, cote de marée haute locale, la capacité de stockage des schorres peut être évaluée grossièrement à $30.000.000 \text{ m}^3$, soit environ 3 % de la capacité totale de l'Escaut, et environ 16 % de la capacité de la partie de l'Escaut située en amont des terrains à endiguer.

Comme nous l'avons vu au § 5 l'endiguement donnera lieu à une perturbation par rapport à la situation actuelle, perturbation qui correspond à l'introduction d'un débit latéral $Q = F(h, t)$.

Pendant la marée montante ce débit est positif, et il se formera une onde positive qui se propagera partiellement vers l'amont. Autrement dit, les eaux du flot qui, actuellement, envahissent les schorres dès que la marée dépasse une certaine cote, seront arrêtées par la digue et formeront une intumescence positive; l'eau montera donc plus vite et plus haut.

N. B. — La capacité d'une rivière à marée est le volume compris entre les lieux géométriques de marée haute et de marée basse. Lorsque le régime est purement maritime (débit d'amont négligeable), les volumes totaux du flot et du jusant représentent un pourcentage déterminé de la capacité; pour l'Escaut, par exemple, environ 90 %. La capacité d'une rivière à marée donne donc une mesure de la puissance hydraulique de cette rivière.

Pendant la marée descendante, le débit Q est négatif, et il se formera une onde négative. Les eaux stockées actuellement dans les schorres ne viendront plus grossir pendant la marée descendante le débit du jusant. L'eau descendra donc plus vite, mais la marée basse ne sera pratiquement pas affectée, parce que la perturbation cesse dès que l'eau descend au-dessous de la cote des schorres, et que son influence s'amortit rapidement.

Pour la marée moyenne les relèvements de marée haute ne seront pas très importants; dans la partie belge de l'Escaut les chiffres calculés sont de l'ordre de grandeur de 5 à 10 centimètres. Les cotes de marée basse ne seront pas changées; il y aura donc une légère augmentation des amplitudes, d'où résultera une légère amélioration du régime dans la partie belge de l'Escaut.

Mais ce que l'on gagnera en puissance hydraulique dans le fleuve même, ne compensera pas la perte de la capacité des schorres, et on devra compter après l'endiguement avec une réduction des vitesses immédiatement en aval des schorres d'environ 10 %. Le maintien des passes dans l'Escaut Occidental deviendra donc plus difficile.

L'influence de l'endiguement sur les cotes de marée-tempête est beaucoup plus forte. En effet, la perte de capacité sera d'environ $90.000.000 \text{ m}^3$. Pour une marée très défavorable, du type de celle du 23-11-1930, nous avons trouvé les chiffres suivants:

Poste marégraphique	cumulée (km)	relèvement marée haute
Anvers	75	34
Tamise	96	30
Termonde	120	25
Wetteren	143	25
Gentbrugge	158	22

c) Niveaux maxima des marées-tempête sur l'Escaut belge.

Nous avons déjà traité l'influence du barrage d'un affluent et celle de l'endiguement de Saaftinge sur les marées hautes de l'Escaut. Il y a encore un troisième facteur, notamment le renforcement des digues en amont d'Anvers. Pendant les marées exceptionnelles il se produit souvent des inondations dans la partie supérieure de l'Escaut Maritime. Il serait intéressant de savoir quelles seraient les cotes atteintes si toutes les digues étaient adéquatement rehaussées et renforcées, notamment pour savoir si la situation de l'agglomération gantoise (voir fig. 5) ne deviendrait pas trop dangereuse.

Nous avons calculé les cotes probables qui seraient réalisées dans cette éventualité au moyen d'une méthode statistique, en nous basant sur les observations marégraphiques. La raison pour laquelle la méthode des lignes d'influence n'a pas été utilisée est l'ignorance dans laquelle nous nous trouvons jusqu'ici quant au débit de crue exact se déversant dans l'Escaut Maritime (condition d'amont).

Ce débit de crue provient :

- du débit de crue du Haut Escaut.
- du débit de crue de la Lys, diminuée d'une certaine quantité qui est évacuée directement vers la mer en amont de Gand.

De la somme $a + b$ il faut retrancher une certaine quantité qui est détournée à Gand vers le canal Gand-Bruges et vers celui de Gand-Terneuzen. Tous ces débits partiels dont il faut déterminer la somme algébrique, sont très difficiles à mesurer, à cause de la situation hydraulique très complexe dans la ville de Gand (il y a une vingtaine de cours d'eau, canaux, etc., qui sont tous reliés entre eux), et du fait des inondations aussi bien en aval qu'en amont de cette ville. La méthode que nous avons utilisée est basée sur la corrélation statistique entre les cotes de marée haute en différents postes d'une part, et celle d'un poste de référence d'autre part.

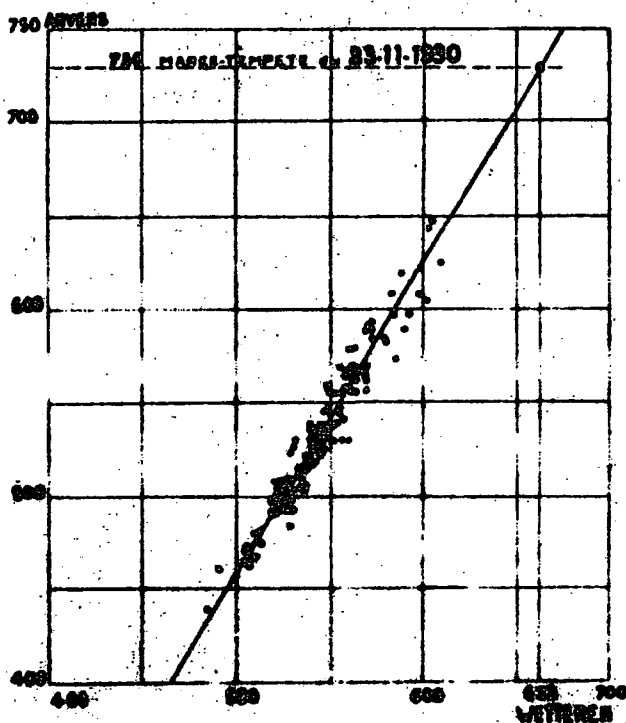


FIG. 6.

Comme poste de référence nous avons pris Anvers (voir fig. 5), qui se trouve en dehors de la zone d'influence des inondations; en ce sens que la marée haute n'y est pas sensiblement rabattue par les inondations, qui se produisent généralement assez loin vers l'amont.

Considérons une poste marégraphique située dans la zone d'inondation, par exemple, Wetteren (voir fig. 5).

	Anvers	Tamse	Termonde	Wetteren	Gentbrugge
endiguement Saafinge	34	30	25	25	22
endiguement en amont d'Anvers..	0	15	31	62	62
relèvement total	34	45	56	87	84
cotes du 23-11-1930	730	690	646	610	615
cote totale	764	735	702	697	699

68 km en amont d'Anvers. Marquons, sur un diagramme de corrélation tel que celui de la figure 6, en ordonnée la cote atteinte à Anvers et, en abscisse, la cote correspondante à Wetteren, pour un certain nombre de marées. Tous les points représentatifs se groupent suivant une droite (à déterminer au moyen de la méthode des moindres carrés) qui représente la relation probable entre le niveau de marée haute à Anvers et celui à Wetteren.

Comme notre but est de déterminer la cote de marée-tempête probable après endiguement complet, les marées représentées ne peuvent toutefois être choisies arbitrairement.

En effet, pour une marée qui atteint une cote déterminée à Anvers, la cote correspondante à Wetteren dépend en une certaine mesure :

- de la hauteur de la marée précédente, une marée forte laissant un plus grand « stock » ou résidu qu'une faible marée, résidu qui relèvera la marée suivante,
- du débit d'amont,
- du fait que la marée considérée est ou n'est pas accompagnée d'inondations.

Afin d'obtenir une bonne corrélation, nous avons donc considéré seulement une « classe » de marées, notamment celle des marées qui ont été précédées (marée précédente) et accompagnées (débit d'amont) par les mêmes circonstances que la marée-tempête la plus défavorable observée jusqu'ici, et qui, en même temps, n'ont pas provoqué d'inondations. Le fait que nous ne connaissons le débit d'amont qu'imparfaitement a ici peu d'importance, parce que, pour faire le classement, il faut seulement connaître les grandeurs relatives.

Le diagramme de la figure 6 montre que tous les points représentatifs se groupent nettement suivant la droite de corrélation.

Pour l'ordonnée +730, niveau de marée-tempête à Anvers, nous trouvons +662 comme niveau probable à Wetteren; le niveau observé (rabattu à cause des inondations) étant de +610, le relèvement résultant de l'endiguement insubmersible sera $662 - 610 = 52$ cm.

Le même procédé a été suivi pour les postes Tamise, Termonde et Gentbrugge. La disposition des diagrammes (non reproduits) est très petite, en moyenne environ 10 cm. A titre de sécurité nous augmenterons les cotes probables de cette quantité.

Dans l'éventualité très défavorable: marée-tempête, endiguement de Saafinge, endiguement insubmersible en amont d'Anvers, on obtient finalement les chiffres suivants :

Ces chiffres seraient encore à augmenter, si un des affluents était fermé, comme nous l'avons vu plus haut, ou bien si une marée-tempête était accompagnée du maximum maximorum des crues d'amont; mais cette dernière éventualité ne s'est pas encore réalisée jusqu'ici.

Evidemment, si tous ces chiffres ont été calculés au centimètre près, il ne faut pas prendre cela à la lettre; il serait illusoire de vouloir obtenir une telle précision par le calcul pour un phénomène aussi complexe que la propagation de la marée dans un fleuve de plus de 100 km de longueur. D'ailleurs, l'exactitude des résultats dépend beaucoup moins de celle des méthodes utilisées, que de l'exactitude, souvent très douteuse, des données: largeurs, profondeurs, débits d'amont, niveau des repères topographiques, etc...

Toutefois les chiffres calculés peuvent et doivent être considérés comme indiquant des ordres de grandeur ou des chiffres possibles; les résultats obtenus montrent quelle influence, parfois considérable, certains travaux peuvent exercer sur le régime de marée.

Remarque. — Nous n'avons pas tenu compte de l'influence du vent, parce qu'en amont d'Anvers la configuration de l'Escaut est telle que l'influence du vent y est minime.

Ouv. de l'Escaut. Mais en aval d'Anvers, et surtout dans l'Escaut Oriental, l'action directe du vent n'est nullement négligeable.

On peut s'en rendre compte en établissant des diagrammes de corrélation: les marées normales (sans vent d'importance) se rangent suivant une droite qui permet de trouver la cote probable. Quand il règne un vent NW violent on constate que les cotes observées dépassent largement les cotes probables, la différence étant due à l'action du vent.

Ainsi par exemple, pour la marée du 19-11-1930, la cote atteinte à Flessingue était de +488. La cote correspondante probable à Anvers était +573, tandis que la cote observée était de +640.

Le relèvement dû à l'action du vent se chiffre donc à $640 - 573 = 67$ cm.

La marée considérée était accompagnée d'un vent de tempête NW ayant une vitesse w d'environ 25 m. par seconde.

Ouv. de l'Escaut. L'influence du vent se fait surtout sentir dans les tronçons très larges et de direction sensiblement NW-SE, Flessingue-Terneuzen et Hansweert-Bath de l'Escaut Oriental, dont la longueur totale est d'environ 40 km. Dans ces tronçons la pente j , peut donc être évaluée à $67 : 40 =$ environ 1,7 cm par km. La profondeur moyenne générale H peut être évaluée à environ 10 m. Introduisons ces chiffres dans la formule (14) du Ch. I, § 7:

$$1,7 = \alpha \frac{25 \cdot 25 \cdot 1}{10}$$

d'où

$$\alpha = 0,027.$$

Cette valeur de α concorde assez bien avec la valeur de 0,036 trouvée pour la Zuyderzee; elle est plus petite parce que la largeur de l'Escaut Occidental ne peut pas être considérée comme infinie.

CHAPITRE III

CALCUL DES RESERVOIRS DE MAREE OU POTPOLDERS

§ 1. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Les inondations d'un fleuve à marée sont le plus à craindre quand une marée de fort coefficient est accompagnée de vents très forts de direction défavorable et d'une crue d'amont.

Comme le montrent les calculs relatifs à l'Escaut, le rehaussement des digues est suivi d'un rehaussement du niveau des marées hautes. Or, le plus souvent la construction de digues complètement insubmersibles coûterait beaucoup trop cher, et d'ailleurs le relèvement des marées tempête résulterait d'un trop grand risque; il faut donc chercher d'autres moyens pour réduire le danger d'inondation.

Remarquons d'abord que, lors d'une marée-tempête, une rupture de digue est beaucoup plus dangereuse qu'un simple débordement, puisque la brèche, une fois créée, permet aux marées suivantes, normalement inoffensives, d'étendre graduellement les champs d'inondation.

Les ruptures sont généralement causées par l'érosion des talus arrière (côté terres) des digues pendant le débordement. On pourra donc réduire le danger de rupture, tout en permettant le débordement, en renforçant la crête des digues et en leur donnant des talus très plats. Evidemment, ces travaux ne sont pas nécessaires tout le long du fleuve; on ne permettra le débordement que là où les inondations causeront le minimum de dégâts (prairies, par exemple).

Enfin, lorsque les champs d'inondation ainsi choisis d'avance ne sont pas séparés des localités ou terrains à protéger par des frontières naturelles, ils seront entourés par des diguettes.

L'ensemble de toutes ces mesures, qui tendent à permettre les inondations tout en les rendant inoffensives, consiste en l'aménagement d'une série de réservoirs de marée ou potpolders.

Lorsque l'Administration des Ponts et Chaussées a envisagé, à l'occasion des inondations désastreuses le long de la Durme en 1930, pour la première fois d'aménager des potpolders, les bases de calcul faisaient totalement défaut: «... les précédents manquaient totalement pour se faire une idée exacte du fonctionnement et de l'efficacité d'un tel réservoir; d'un autre côté, le calcul est impuissant à résoudre un tel problème... ».

Grâce à la méthode des lignes d'influence le calcul en est devenu possible; comme nous le montrerons plus loin il concorde parfaitement avec les résultats obtenus par voie expérimentale.

§ 2. — EFFET D'UNE DIGUE-DÉVERSOIR

Un déversement latéral produit une déformation locale de l'axe hydraulique; celui-ci se relève sensiblement dans le sens du courant, par le fait qu'en aval du déversoir le débit (et donc la vitesse) est plus grand qu'en amont (voir fig. 7). On considère le courant de flot, tandis que les termes « aval » et « amont » conservent leur signification géographique.

La forme exacte de l'axe hydraulique est assez difficile à calculer, comme le montre une étude de M. Millemam sur l'effet des digues-déversoirs le long des rivières à marée (*Annales des Travaux Publics*, T. XXXVII, p. 663).

Le problème se simplifie considérablement si l'on remplace l'axe hydraulique exact ABCO (voir fig. 7) par l'axe approché AB'C'O, qui se trace au moyen des deux points auxiliaires P_a et P_o qui se trouvent dans la section médiane du déversoir.

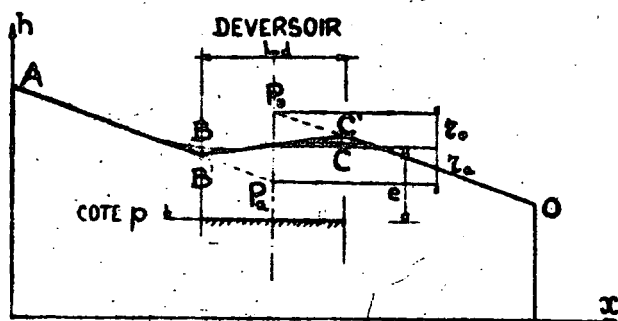


FIG. 7.

Les cotes (fictives) dans ces points sont données par les formules suivantes, déduites de celles de M. Henry Favre (*):

$$h_{P_a} = p + e - r_a \text{ avec } r_a = \frac{1,1}{4gB^3H^2} (q_a - q_o) (3q_a + q_o) \quad (15)$$

$$h_{P_o} = p + e + r_o \text{ avec } r_o = \frac{1,1}{4gB^3H^2} (q_a - q_o) (q_a + 3q_o) \quad (16)$$

avec:

p = cote du déversoir,

BH = section mouillée locale,

q_a = débit de la rivière en aval du déversoir,

q_o = débit de la rivière en amont du déversoir,

e = épaisseur de la nappe déversante,

$$= 0,72 (Q/Ld)^{2/3} \quad (17)$$

$Q = q_a - q_o$

Ld = longueur du déversoir.

Ces relations expriment que les niveaux fictifs immédiatement en aval et en amont de la section médiane du déversoir diffèrent du niveau moyen $p + e$, des quantités r_a et r_o . La somme r_a et r_o représente le saut brusque, correspondant à la perte de vitesse locale, que présenterait l'axe hydraulique si le déversement était concentré à la section médiane du déversoir.

Notons que l'épaisseur e de la nappe déversante ne peut pas être prise arbitrairement. En effet, elle détermine le débit déversé par unité de largeur, donc la vitesse du courant sur la crête et le talus aval de la digue; comme cette vitesse ne peut pas dépasser une certaine valeur, compatible avec la résistance à l'érosion du talus, l'épaisseur e ne pourra pas dépasser une certaine limite. Cette valeur limite est de 20 à 25 cm pour des digues à crête renforcée et à talus peu inclinés couverts de gazonnage.

En somme, l'épaisseur de la nappe déversante sera donc une donnée du problème, du moins comme ordre de grandeur.

§ 3. — APPLICATION DE LA MÉTHODE DES LIGNES D'INFLUENCE AU CALCUL DES POTPOOLDERS

Soit une rivière à marée munie d'une série de digues-déversoirs I, II, III, ..., dont les crêtes se trouvent respectivement aux cotes p_1, p_{II}, \dots

Il s'agit de déterminer, pour une marée donnée accompagnée d'une crue d'amont:

- les cotes de marée haute dans la rivière,
- les volumes déversés dans les différents potpolders,
- les longueurs des différents déversoirs.

Au premier chapitre nous avons vu qu'il est possible de calculer, au moyen des formules (6) et (7), les fonctions $h(x,t)$ et $q(x,t)$ dans une rivière à marée, si on se donne les conditions aux limites:

- courbe marée à l'embouchure,
- débit d'amont.

Dans le problème des potpolders on doit calculer, en plus de $h(x,t)$ et de $q(x,t)$, les débits déversés dans chaque potpolder Q_I, Q_{II}, \dots . Il nous faut donc des conditions aux limites supplémentaires.

Celles-ci sont données par le fait que, pendant le déversement, la cote à l'endroit de chaque potpolder ne dépasse pas de beaucoup celle du déversoir. Comme nous devons considérer deux cotes: une en aval et une en amont, qui diffèrent entre elles de la quantité $r_a + r_o$ (ordre de grandeur 10 cm), nous pourrions prendre, comme première approximation:

$$\text{cote en aval } p + 20 - 5 = p + 15 \text{ cm,}$$

$$\text{cote en amont } p + 20 + 5 = p + 25 \text{ cm.}$$

(*) Henry FAVRE: « Contribution à l'étude des courants liquides ». Editions S.A. Rascher, Zurich, Leipzig et Stuttgart, 1933.

Avec ces conditions aux limites supplémentaires on calcule facilement les fonctions $h(x,t)$ et $q(x,t)$ dans la rivière.

Ensuite on détermine, pour chaque déversoir, le débit déversé Q qui est la différence entre le débit q_a immédiatement en aval, et le débit q_o immédiatement en amont du déversoir.

Avec la valeur moyenne de Q on calcule, au moyen de la formule du déversoir rectangulaire (17), la longueur L_d nécessaire pour obtenir une épaisseur de déversement e convenable (de l'ordre de grandeur de 20 cm).

Cette première approximation correspondra déjà assez bien à la réalité; on pourra l'améliorer en calculant les cotes exactes en aval et en amont de chaque déversoir au moyen des formules (15) et (16), et en recommençant les calculs en se basant sur ces nouvelles conditions aux limites.

Au Ch. IV nous donnerons un exemple numérique, dans lequel nous détaillerons toutes les opérations à effectuer.

§ 4. — ECLUSES D'ÉVACUATION

Dans certains cas, deux fortes marées peuvent se succéder. Il importe alors que chaque potpolder puisse se vider pendant la marée descendante afin de pouvoir recevoir la marée haute suivante. A cet effet, il faut prévoir des écluses d'évacuation ayant une capacité suffisante.

La section totale de ces écluses d'évacuation peut se calculer approximativement comme suit:

Soit F la superficie totale du potpolder; le débit évacué sera alors

$$= F \frac{\partial h'}{\partial t}$$

ou $h'(t)$ représente le niveau dans le potpolder.

Pendant la vidange le niveau h' aura tendance à suivre le niveau h de la rivière; après quelques heures on aura

$$\frac{\partial h'}{\partial t} \approx \frac{\partial h}{\partial t}$$

Si m est la valeur moyenne du gradient $\partial h / \partial t$ (par exemple 1 m/h), on pourra donc évaluer avec une bonne approximation le débit maximum à évacuer à $-F \cdot m$, et comme la vitesse du courant dans les écluses doit être limitée à une valeur v_{\max} compatible avec les matériaux employés, on aura finalement, pour la section totale Ω :

$$\Omega = - \frac{F \cdot m}{v_{\max}}$$

Une fois la section déterminée, il faut vérifier si la vidange complète est possible en une marée; comme on le voit sur la figure 8 il faut que la courbe $h'(t)$ rencontre la cote du terrain avant que la marée montante ne puisse mettre fin à l'évacuation.

Pour construire cette courbe on dispose des relations suivantes:

$h' - h$ = perte de charge dans les écluses $= K v^2$,

v = vitesse d'évacuation $= Q/\Omega$,

Q = débit évacué $= -F \frac{\partial h'}{\partial t}$

Bien qu'il soit possible de résoudre ce système d'équations, il est généralement plus facile de déterminer la fonction h' par tâtonnements, en remplaçant les différentielles par des différences finies.

Notons que le coefficient de proportionnalité K qui lie la perte de charge à la vitesse d'évacuation englobe les pertes dynamiques (transformation de hauteur en vitesse) et les pertes de frottement, comme il dépend de la forme et des dimensions des écluses et de leurs approches, il importe de le déterminer expérimentalement.

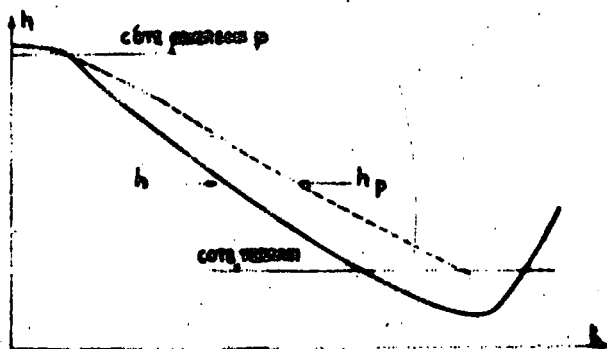


FIG. 8.

§ 5. — LES POTPOLDERS DE LA DURME

Comme nous l'avons exposé au § 5 du Ch. II, la Durme, affluent soumis à marée de l'Escaut Maritime, pose un double problème au point de vue ensablement d'une part, et au point de vue inondations d'autre part.

Nous avons déjà discuté une des solutions possibles, notamment le barrage de cette rivière.

Nous allons nous occuper maintenant de la solution adoptée par l'Administration des Ponts et Chaussées.

Elle consiste d'abord en l'amélioration de la Durme au point de vue marée moyenne; cette amélioration a été obtenue par des coupures, des travaux de calibrage, de dragages, etc., qui favorisent la libre propagation du flot et du jusant, et qui par l'abaissement des marées basses facilitent l'évacuation des terrains riverains.

Mais par ces travaux les marées exceptionnelles pénètrent plus facilement elles-aussi et montent plus haut. A moins de rehausser les digues, les inondations deviendront plus fréquentes, et si on rehausse les digues, les marées hautes atteindront des cotes impressionnantes.

On y remédie par la seconde partie du programme (en voie d'exécution); les inondations sont régularisées par l'aménagement d'une série de potpolders conçus de façon

à maintenir les cotes de marée haute au-dessous d'une certaine limite.

Les différents potpolders se répartissent en trois groupes, A, B et C, représentés schématiquement à la figure 5.

Nous avons calculé les volumes déversés pour une marée-tempête du type le plus défavorable:

Groupe	Distance à l'embouchure en km	Volumes déversés en mètres cubes
A	5,5	3.200.000
B	11,5	1.700.000
C	15,5	1.000.000
		5.900.000

La figure 9 représente les lieux géométriques des marées hautes de marée-tempête dans différentes hypothèses:

- a) rivière dans son état naturel.
- b) rivière complètement endiguée.
- c) les trois groupes A, B et C fonctionnant,
- d) les deux groupes B et C fonctionnant seulement.

En comparant les lieux a) et b) on se rend compte du relèvement que subiraient les marées hautes par l'influence de l'endiguement complet. Dans l'hypothèse c) les potpolders remplacent les champs d'inondation qui s'étendaient tout le long de la Durme; les cotes correspondent sensiblement à celles de l'hypothèse a) (état naturel). D'ailleurs le volume déterminé plus haut 5.900.000 mètres cubes est du même ordre de grandeur que le cube total des inondations antérieures (6.000.000 à 7.000.000 m³).

En somme on remplacerait donc les inondations naturelles par des inondations artificielles contrôlées. Mais on y gagnerait tout de même: pendant les inondations naturelles l'eau se répartit en couche relativement mince sur des étendues considérables, tandis que dans les potpolders elle est emmagasinée avec des hauteurs de 3 à 4 m.

Dans l'hypothèse d) nous avons supprimé le groupe A; on obtient presque le même résultat au point de vue cotes que dans l'hypothèse précédente, mais le volume à emmagasiner se réduit considérablement:

B	2.000.000 m³
C	1.000.000 m³
Total	3.000.000 m³

Le cube total B + C sans A serait donc de 3.000.000 — 3.000.000 = 2.900.000 m³ inférieur au cube total A + B + C, tout en donnant à peu près le même effet utile.

Le rendement médiocre du groupe A, au point de vue rabattement des marées hautes, s'explique par le fait que ce groupe se trouve trop près de l'embouchure de la Durme; il est presque entièrement rempli par de l'eau

venant de l'Escaut qui, normalement, n'aurait pas pénétré dans la Durme. Cette eau est amenée de la façon suivante: pendant le déversement, le rabattement local donne lieu à deux ondes négatives, une d'aval et une d'amont; lorsque l'onde aval atteint l'embouchure, elle est réfléchie sous la forme d'une onde positive qui tend à rétablir le niveau primitif; arrivée près du déversoir cette onde positive donnera lieu à un déversement supplémentaire, et retournera sous forme d'onde négative, etc. Dans la partie « potpolder A — embouchure » de la Durme, la vitesse de propagation des ondes est d'environ 7 m/sec; le voyage aller-retour se fait donc en $11.000/7 = 1.570$ sec; la durée de déversement étant de 3 heures, il y aura donc 7 réflexions successives, donc 7 ondes positives qui amèneront l'eau de l'Escaut pour la déverser dans le potpolder A. Par contre, la distance du groupe B étant plus grande, il n'y aura que trois fois réflexion de l'onde de remplissage. Par ailleurs, les résistances de frottement sont aussi plus grandes sur le trajet « embouchure-B », que sur celui « embouchure-A ».

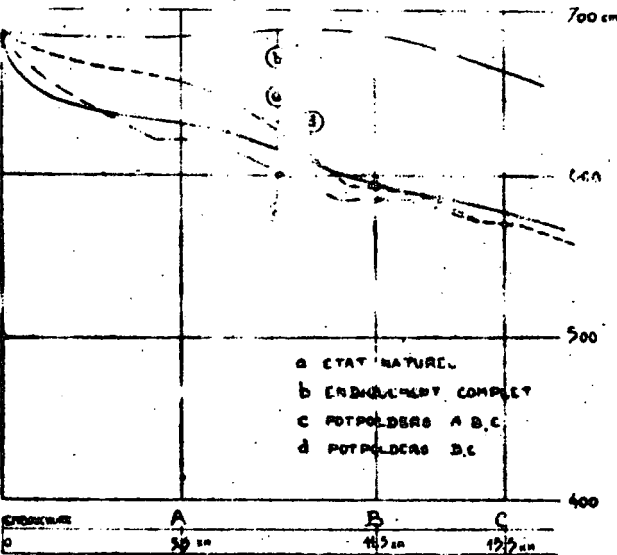


FIG. 9. — Lieux géométriques de M. H. - Tempête dans la Durme.

CHAPITRE IV

VERIFICATION DE QUELQUES ESSAIS SUR MODELE REDUIT

§ 1. — BUT DES CALCULS

Nous avons déjà, au Ch. II, confronté quelques résultats de calcul avec des données expérimentales. Mais il s'agissait de petites quantités (perturbations), pour lesquelles l'erreur absolue ne peut évidemment être très grande.

Il nous reste encore à montrer que la bonne concordance persiste lorsqu'il s'agit de calculer non les déformations des courbes de marée, mais ces courbes elles-mêmes.

L'objet de comparaison sera l'écoulement réalisé dans un modèle réduit, notamment un modèle représentant la Nêthe (voir fig. 5) améliorée suivant un programme élaboré par M. Bonnet, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Nous considérerons deux régimes:

- le régime de marée-tempête dans la rivière endiguée,
- l'influence, sur ce régime, d'un potpolder.

Pour le premier cas nous donnerons seulement les résultats; pour le second, dont le calcul constitue un des problèmes les plus difficiles de l'hydraulique des cours d'eau maritimes, nous donnerons toutes les indications nécessaires pour suivre la marche du calcul.

Les essais ont été exécutés sous la direction de M. Lamoën, Ingénieur principal des Ponts et Chaussées.

§2 — DONNÉES

La Nêthe est constituée par:

- la Nêthe inférieure, longue d'environ 15 km, qui a un régime nettement maritime,
- la Grande et la Petite Nêthe (dont la jonction à Lierre forme la Nêthe inférieure), dans lesquelles la marée se propage sur une dizaine de kilomètres tout en s'atténuant graduellement.

Les deux dernières rivières ont à peu de choses près même pente, même largeur, même profondeur. même débit d'amont. Pour la facilité du calcul nous les remplacerons par une rivière fictive équivalente ayant comme pente la moyenne, comme largeur la somme, comme profondeur la moyenne, et comme débit d'amont la somme des quantités correspondantes de la Grande et de la Petite Nêthe.

En tenant compte de cette substitution, la Nêthe améliorée selon le programme de M. Bonnet, comporte une pente d'environ 5 cm par km entre les cumulées 0 (embouchure) et 10,9 km (Duffel); et d'environ 30 cm par km en amont. La cote de fond à l'embouchure est — 194 cm. Les profils en travers sont des trapèzes; la largeur au plafond varie de 42,50 m au km 0 (embouchure) à 15,10 au km 14,5 (Lierre), pour augmenter ensuite graduellement jusqu'à une vingtaine de m au km 25; l'inclinaison des talus est de 12/4 en aval du km 16,6 et de 16/4 en amont. Ces différentes caractéristiques sont représentées à la figure 10.

Pendant les essais des marégraphes ont été enregistrés aux endroits suivants (voir fig. 5 et 10).

Walem km 0,

Duffel km. 10,9,

Lierre km 14,5,

Emblem km 20,6 (Petite Nêthe).

Kessel km 23 (Grande Nêthe).

En tenant compte de ce que nous avons réuni la Grande et la Petite Nêthe en une seule rivière équivalente, nous comparerons la moyenne des observations marégraphiques à Emblem et à Kessel, au poste fictif E. K., de cumulée $(20,6 + 23) : 2 = 21,8$ km.

Le premier régime à étudier est celui de la marée-tempête dans la rivière complètement endiguée. Les cotes expérimentales sont (en centimètres):

	Marée haute	Marée basse	Amplitude
Walem	682	201	481
Duffel	682	324	358
Lierre	684	356	328
Emblem	692	472	220
Kessel	700	469	231

Le débit d'amont est de 40 m³/sec; en outre, il s'y ajoute, entre Duffel et Lierre, un débit latéral de 8 m³/sec. représentant l'apport des ruisseaux et éclusettes.

On remarquera que les amplitudes de marée sont relativement grandes, de l'ordre de grandeur de la hauteur

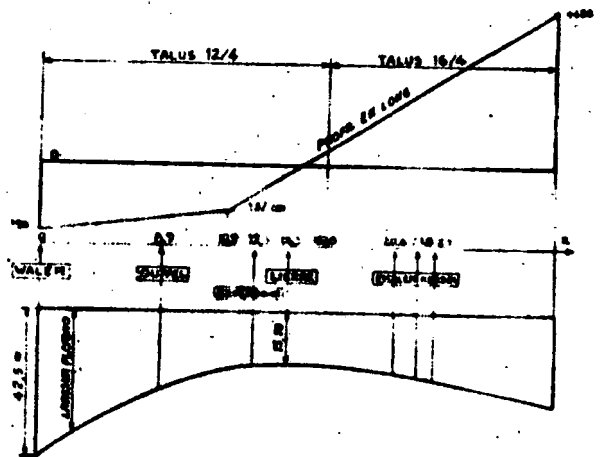


FIG. 10. — Nêthe améliorée.

d'eau à marée basse; à Walem, par exemple, l'amplitude est de 481 cm, la hauteur d'eau à marée basse, $201 + 194 = 395$ cm.

Le deuxième régime est celui qu'on obtient en faisant jouer les mêmes conditions aux limites, après avoir arasé une des digues à la cote 550 sur une longueur de 1.500 m entre les cumulées 11,75 et 13,25. Le déversement latéral a alors pour effet de rabattre notablement les cotes de marée haute comme le montrent les chiffres suivants:

	Marée haute sans déversement	Marée haute avec déversement	Rabattement
Walem	682	682	0
Duffel	682	597	85
Lierre	684	583	101
Emblem	692	595	97
Kessel	700	596	104

Le volume total déversé par marée est de 3 millions 64.000 m³.

Le coefficient C correspondant à la rugosité du modèle est donné par la formule

$$C = \frac{87}{1 + \frac{2.7}{\sqrt{H}}}$$

§ 3. — RÉGIME DE MARÉE-TEMPÊTE SANS DÉVERSEMENT LATÉRAL

Voici les chiffres calculés pour la marée-tempête sans déversement latéral, comparés aux données expérimentales :

	Marée haute		Marée basse		Amplitude	
	calcul	essai	calcul	essai	calcul	essai
Walem	682	682	201	201	481	481
Duffel	682	682	324	324	358	358
Lierre	685	684	359	356	326	328
Moyenne						
Emb. Kessel	696	695	470,5	467	225,5	228

Pratiquement, il y a concordance parfaite; en effet, réduites à l'échelle du modèle (1 mm modèle = 4 cm nature), les différences entre les chiffres calculés et les

à Lierre le mouvement permanent initial persiste encore pendant une certaine période, égale au temps que met la perturbation initiale à parcourir la distance Walem-Lierre. La courbe calculée à Lierre comprend donc une partie horizontale à la cote 281, suivie d'une courbe qui rejoint graduellement la courbe de marée périodique. On voit sur la figure que les deux courbes (calculée et expérimentale) se rejoignent, pour ne plus se séparer, après une demi-marée: la transition entre le régime permanent initial et le régime de marée se fait donc, dans ce cas-ci, en une demi-marée.

§ 4. — INFLUENCE DU DÉVERSEMENT LATÉRAL

Pour cet exemple-ci nous détaillerons les différents calculs à effectuer.

1°) Réseau des lignes d'influence.

La longueur L des différents tronçons se calcule au moyen de la relation

$$L = T \sqrt{gH}$$

où H est la profondeur moyenne dans chaque tronçon. Le calcul des L nécessite quelques tâtonnements.

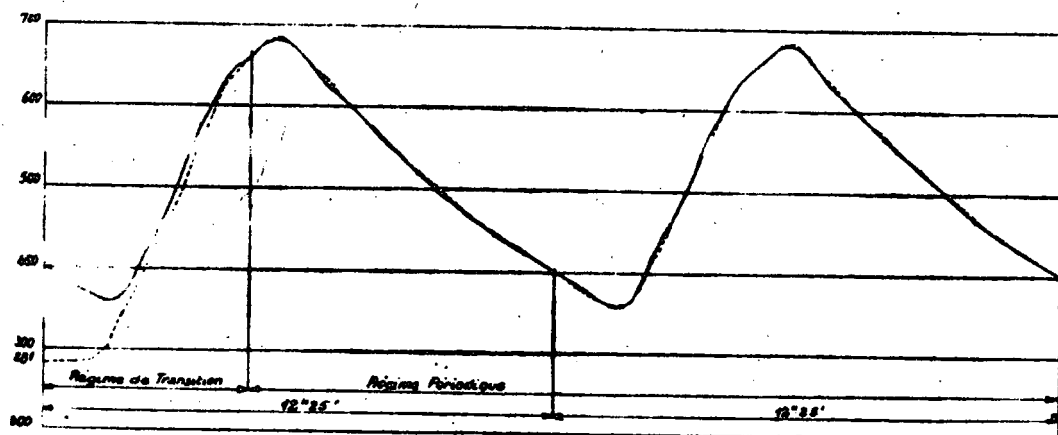


FIG. 11.

chiffres expérimentaux sont de l'ordre de grandeur de l'épaisseur des courbes marégraphiques enregistrées sur le modèle.

Mais cette concordance ne se limite pas aux seuls niveaux extrêmes, mais s'étend au cycle-marée entier, comme le montre, par exemple, la figure 11. Cette figure représente la courbe de marée enregistrée (trait plein) et calculée (trait interrompu) à Lierre. Pour bien la comprendre il faut se rappeler que dans le calcul d'un mouvement périodique la situation initiale doit être choisie arbitrairement. Comme point de départ nous avons pris l'axe hydraulique déterminé par la cote de marée basse (201) à Walem, et par le débit d'amont. Il y correspond la cote de 281 à Lierre. A l'instant 0 (voir fig. 10) nous commençons à faire jouer la marée à Walem; mais

Prenons, comme cote moyenne, pendant le déversement, 600, le phénomène se situant aux environs de la marée haute; fixons l'intervalle T à 440 secondes.

Dans la section O (embouchure) on a :

cote de fond: — 194 cm,

largeur au plafond: 42,50 m,

talus: 12/4,

largeur à la cote 600 = $42,50 + 6(1,94 + 6,00)$
= 90,14 m,

section mouillée = $0,5(90,14 + 42,50)(1,94 + 6,00)$ = 526,58 m²,

profondeur moy. $H = 526,58 : 90,14 = 5,85$ m.

Comme la fonction H varie lentement, nous pouvons prendre comme première approximation pour L :

$$L = 440 \sqrt{9,81 \cdot 5,85} = 3.330 \text{ m.}$$

Dans la section de cumulée 3.330 on trouve, en calculant comme ci-dessus: $H = 5,45$.

La profondeur moyenne dans le premier tronçon peut donc être évaluée à

$$H = 0,5 (5,45 + 5,85) = 5,65 \text{ m.}$$

d'où une meilleure approximation pour L

$$L = T \sqrt{gH} = 440 \sqrt{9,81 \cdot 5,65} = 3,280 \text{ m.}$$

Finalement on trouve la subdivision suivante:

Section	Entredistance L en mètres	cumulée en km
0 (embouchure)		0
I	3.280	3,28
II	3.180	6,46
III	3.070	9,53
IV (déversoir)	2.970	12,50
V	2.790	15,29
VI	2.610	17,90
VII	2.430	20,33
VIII	2.260	22,59
IX	2.110	24,70
X	2.000	26,70
XI	1.850	28,50

On retrouve cette subdivision horizontale au tableau 3; il y correspond la subdivision de l'axe des temps en intervalles de 440 sec par les instants 0, 1, 2, ...; l'instant 0 coïncide avec le début du déversement.

Fig. 1. Vari. au des de la page 28.

2°) Conditions aux limites.

Au tableau 3, la section IV (cumulée 12,5) correspond avec la digue-déversoir; l'instant 0 correspond au début du déversement. Au point (IV,0) la cote de l'eau est donc 550, cote en crête du déversoir.

Par le point (IV,0) passent les lignes d'influence (IV,0) — (0,4) et (IV,0) — (XI,7) qui forment la limite entre la zone du régime normal et la zone perturbée par le déversement. Le long de ces lignes les cotes et les débits sont encore ceux du régime normal, que nous avons déjà déterminés par les calculs mentionnés au paragraphe précédent.

Au tableau 3 nous avons marqué en caractères gras les chiffres correspondants, les cotes aux sections paires 0, II, IV, ..., et les débits aux sections impaires I, III, V, ...; l'ensemble de ces chiffres constitue les conditions initiales du problème.

Toujours en caractères gras nous avons marqué aussi les cotes dans la section 0 (embouchure), et les débits (= débit d'amont) à la section XI qui pratiquement peut-être considérée comme la limite amont du domaine maritime (comme le montre d'ailleurs le tableau 3, où déjà dans la section X les variations de niveau sont minimales).

A la section IV (déversoir) la cote est a priori inconnue, mais nous savons qu'elle ne peut pas dépasser de beaucoup la cote 550 du déversoir; nous poserons provisoirement (voir schéma au 3°):

cote $(h_{IV})_a$ immédiatement en aval de IV:

$$550 + 20 - 5 = 565,$$

cote $(h_{IV})_o$ immédiatement en amont de IV:

$$550 + 20 + 5 = 575.$$

3°) Calcul provisoire.

Les formules à appliquer sont (6) et (7)

$$q_r = \frac{q_p + a(h_a - h_o)}{1 + k_p} \quad (6)$$

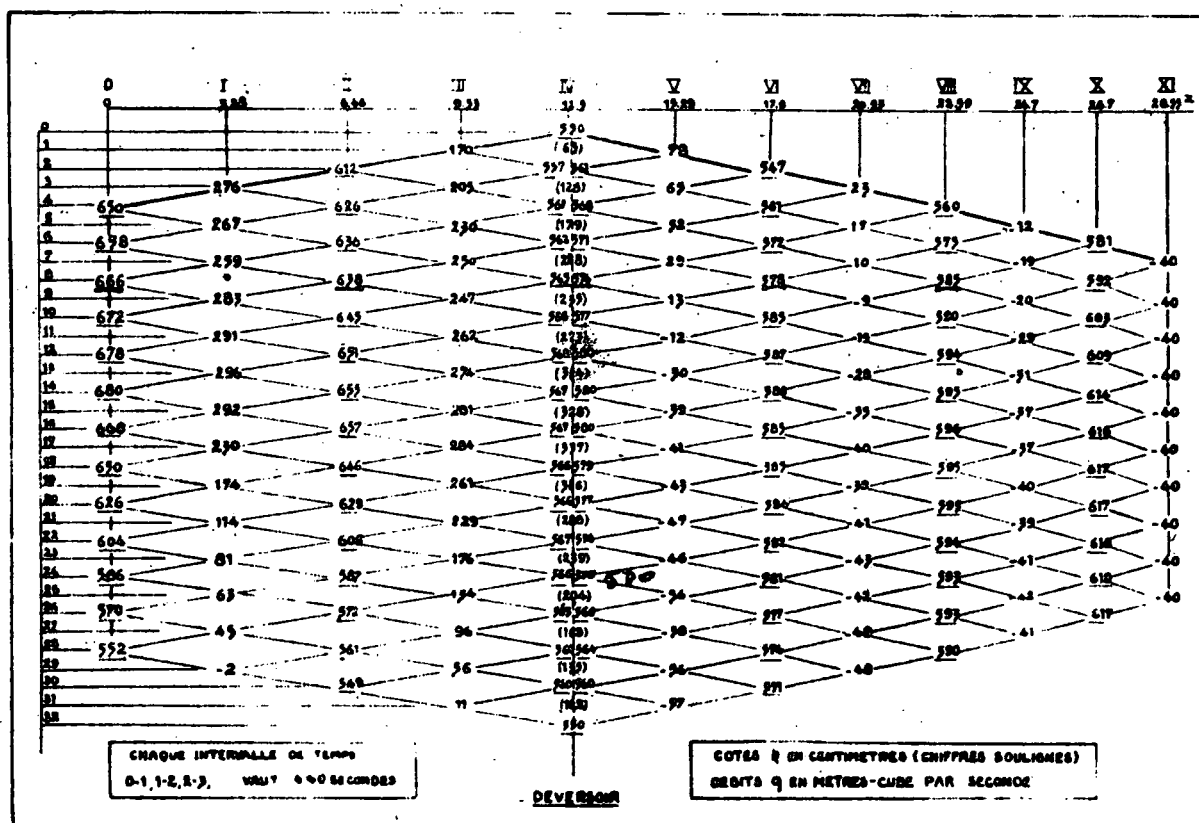
$$h_r = h_p + \frac{q_a - q_o}{b} \quad (7)$$

$$\text{avec } a = \frac{gBHT}{L}, \quad b = \frac{BL}{T}, \quad c = \frac{C^3BH^3}{2gT}.$$

$$k_p = \frac{1/q_p}{c}.$$

Dans chaque section les coefficients a , b et c peuvent être calculés en fonction de la cote h . En effet, si on se donne la cote h , on peut calculer successivement la largeur en surface B , la section mouillée, puis, par division, la profondeur moyenne H , le coefficient C qui est fonction de H , etc. Nous avons réuni les valeurs calculées de a , b , et c au tableau 2, en échelonnant les cotes de 5 en 5 cm; les unités sont telles que l'application des formules (6) et (7) donnera les cotes en centimètres et les débits en mètres cubes par seconde.

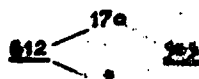
Considérons maintenant le schéma ci-dessous :



TAB. 3. Nethe améliorée. Déversement latéral.

Les conditions aux limites y sont marquées en caractères gras. Pour plus de clarté nous avons souligné les cotes.

Prenons d'abord le quadrilatère (II,2)-(III,1)-(IV,2)-(III,3) :



L'inconnue, le débit en (III,3), se calcule au moyen de (6) :

$$\text{cote moyenne} = \frac{17.8 + 2.23}{2} = 10.015$$

$$\text{le tableau 2 donne: } a = 1.82, c = 207,$$

$$\text{d'où } 1 + h_1 = 1 + 170 : 207 = 1.82,$$

$$\text{la différence de niveau } h_1 - h_0 \text{ est}$$

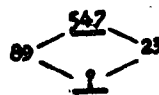
$$672 - 565 = 107,$$

$$\text{d'où, finalement, } q_1 = \frac{170 + 1.82 \cdot 107}{1.82} = 192.$$

De même on trouve, en appliquant (6) au quadri-

latère (V,1)-(IV,2)-(VI,2)-(V,3), pour le débit en (V,3) ; $q = 89.2$

Considérons maintenant le quadrilatère (VI,2)-(V,3)-(VII,2)-(VI,4) :



où l'inconnue est la cote en (VI,4). La formule (7) nous donne :

$$\text{cote moyenne estimée à } 550,$$

$$\text{d'où, d'après le tableau 2, } b = 3.02,$$

$$\text{d'où } h_1 = 547 + \frac{89 - 23}{3.02} = 569.$$

4° Débits déversés.

Considérons la partie de la rivière entre les sections III et V. Il y entre le débit q_1 (débits calculés dans la section III), il en sort le débit q_0 (débits calculés dans la section V) ; en plus, il y a un déversement latéral Q

N. B. — Comme on considère alternativement les débits (sections impaires) et les cotes (sections paires), et comme on se donne les cotes à l'aval du déversoir, il en résulte que celui-ci coïncide avec une section paire (dans ce cas-ci la section IV).

L'intervalle T, qui détermine les longueurs de tronçon L, pouvant être choisi arbitrairement (à condition toutefois de ne pas être trop grand), on peut toujours trouver une répartition convenable, même s'il y a plusieurs déversoirs à considérer.

dans le potpolder (section IV), et un apport latéral de 8 m³/sec provenant du débit des ruisseaux et éclusettes. Si on fait la balance entre ces différents débits et l'emmagasinement dans la rivière même par suite de la variation des cotes, on trouve, par l'application de l'équation de continuité:

$$Q = q_a - q_o + 8 - b(h_t - h_p).$$

La cote moyenne pendant le déversement étant de

$$\frac{565 + 575}{2} = 570,$$

le tableau 2 donne, pour la section IV, $b = 3,7$. Donc

$$Q = q_a - q_o + 8 - 3,7(h_t - h_p).$$

Appliquons cette relation pour l'intervalle 0 — 2; d'après le schéma de 3°) nous avons:

$$q_a = 170,$$

$$q_o = 78,$$

$$h_t = \frac{575 + 565}{2} = 570 \text{ (à l'instant 2),}$$

$$h_p = 550 \text{ (instant 0),}$$

$$Q = 170 - 78 + 8 - 3,7(570 - 550) = 26 \text{ m}^3/\text{sec}.$$

De même, pour l'intervalle 2-4:

$$q_a = 192$$

$$q_o = 89,$$

$$h_t = h_p = 570,$$

$$Q = 192 - 89 + 8 - 111 \text{ m}^3/\text{sec}.$$

De même pour les intervalles 4-6, 6-8, etc. Le déversement cesse lorsqu'on trouve un Q négatif ou nul.

Vérifions enfin les cotes estimées en aval et en amont du déversoir au moyen des formules (15) et (16). Après introduction des valeurs numériques (B.H. etc.), ces formules deviennent:

$$(h_{IV})_a = 550 + \frac{Q^{2/3}}{1,82} - \frac{(q_a - q_o)(3q_a + q_o)}{23.300}$$

$$(h_{IV})_o = 550 + \frac{Q^{2/3}}{1,82} + \frac{(q_a - q_o)(q_a + 3q_o)}{23.300}$$

A l'instant 2 nous avons (voir schéma au 3°):

$$Q = 0,5(26 + 111) = 68,5$$

$$q_a = 0,5(170 + 192) = 181$$

$$q_o = 0,5(78 + 89) = 85,5$$

d'où

$$(h_{IV})_a = 550 + \frac{68,5^{2/3}}{1,82} -$$

$$\frac{(181 - 85,5)(543 + 85,5)}{23.300} = 557 \text{ cm}$$

$$(h_{IV})_o = 550 + \frac{68,5^{2/3}}{1,82} +$$

$$\frac{(181 - 85,5)(181 + 250,5)}{23.300} = 561 \text{ cm}.$$

De même pour les autres instants 4, 6,...

5°) Calcul définitif.

En partant des cotes corrigées calculées plus haut — qui ne diffèrent d'ailleurs pas beaucoup des cotes estimées —, nous avons refait les calculs, ce qui nous a donné les chiffres pratiquement exacts du tableau 3. Nous avons marqué les conditions aux limites en chiffres gras; les cotes (soulignées) sont en centimètres, les débits en mètres cubes par seconde. Les chiffres entre crochets (section IV) sont les débits déversés.

6°) Comparaison entre calcul et essai.

Le volume total déversé est égal à la somme des Q multipliée par la durée des intervalles 0-2, 2-4, ..., qui est de $2 \times 440 = 880$ secondes. Cette opération nous donne comme résultat, avec les chiffres du tableau 3:

$$\text{volume total} = 3.117.000 \text{ m}^3.$$

Le chiffre expérimental étant de 3.064.000 m³, l'erreur n'est que de 2 % par excès, ce qui est insignifiant au point de vue pratique.

Comme on devait s'y attendre d'après les résultats obtenus au § 3, les cotes calculées correspondent toutes, à quelques centimètres près, aux cotes enregistrées sur le modèle pendant le déversement; ainsi, pour les marées hautes, les chiffres sont:

	Cote calculée	Cote expérimentale
Walem	682	682
Duffel	594	597
Lierre	582	583
Moy. Enghem-Kessel.	595	595

6. — CONCLUSION

Les résultats trouvés plus haut montrent qu'il y a une concordance pratiquement parfaite entre le calcul et l'expérience; les cotes ne diffèrent que de quelques centimètres, les courbes calculées épousent toutes les irrégularités des courbes enregistrées, les volumes sont identiques.

Il semble donc prouvé que le calcul peut donner des indications quantitatives aussi exactes que l'expérimentation sur modèle réduit.

En ce qui concerne la similitude entre le modèle et la nature, le calcul nous permet aussi de tirer certaines conclusions.

Les essais considérés dans ce chapitre-ci concernant une rivière fictive, la Nette améliorée.

Pour qu'il puisse y avoir similitude entre la rivière future et le modèle, que nous appellerons pour plus de facilité le modèle B, il faut que les rugosités respectives correspondent.

Comme le lit de la Nèthe améliorée ne s'écartera pas beaucoup de celui de la Nèthe actuelle, il se trouvera dans du même terrain, et on peut présumer qu'il présentera la même rugosité propre.

En se basant sur cette hypothèse on a donné au modèle B la même rugosité que celle qui avait donné satisfaction dans un autre modèle, le modèle A, représentant la Nèthe actuelle. La rugosité étant réalisée en encastrant du gravier dans le ciment lisse des modèles, on a pris dans les deux cas des cailloux de mêmes dimensions et présentant la même densité de répartition (nombre par unité de surface).

Nous avons vu dans les paragraphes précédents qu'il y a pleine correspondance entre le modèle B et le calcul, en prenant comme coefficient de rugosité $\gamma = 2.7$.

Comme la Nèthe actuelle est une rivière assez irrégulière, sa rugosité (globale) sera un peu plus grande (voir Ch. I, § 8). En se basant sur la divergence moyenne entre les sections successives, et en prenant pour la rugosité propre $\gamma = 2.7$, on trouve comme rugosité globale probable $\gamma = 3.1$.

Si les procédés expérimentaux sont exacts, si la méthode de calcul est exacte, on devra en calculant la marée de la Nèthe actuelle au moyen de ce coefficient, trouver concordance entre le calcul et les observations marégraphiques, puisque le modèle A (point de départ) a été réglé de façon à obtenir la similitude avec la Nèthe actuelle.

Voici les résultats de ce dernier calcul, pour les postes Duffel et Lierre (marée moyenne décennale 1921-30) :

	Marée haute		Marée basse	
	nature	calcul	nature	calcul
Duffel	489	483	185	187
Lierre	472	478	258	256

Retard M. H.		Retard M. B.	
nature	calcul	nature	calcul
22'	20'	50'	60'
56'	60'	123'	130'
(retards sur M. H. ou M. B. à l'embouchure)			

La concordance est très satisfaisante, en tenant compte de ce que :

- il peut y avoir des erreurs de quelques centimètres sur le plan zéro des échelles marégraphiques (erreurs de nivellement, tassements, etc.),
- le débit d'amont n'est pas exactement connu,
- nous avons pris les largeurs et profondeurs des cartes hydrographiques levées en 1937, alors qu'il faudrait calculer avec les moyennes 1921-1930.

On conçoit que, dans ces circonstances, on ne peut pas obtenir une aussi grande exactitude que pour les calculs relatifs aux essais sur modèles, où toutes les données sont exactement connues.

En résumant on peut conclure que, si en parcourant le cycle fermé Nèthe — modèle A — modèle B — Nèthe améliorée (calcul) — Nèthe calcul), nous revenons au point de départ avec une concordance satisfaisante, cela prouve la valeur objective des méthodes expérimentales — première partie de l'essai — et celle des calculs, qui forment la deuxième partie du cycle.

Avant de procéder à des travaux importants, il importe donc d'employer les deux méthodes : si il y a concordance entre les résultats, il y aura une certitude absolue quant à l'effet que les travaux produiront.

H. HOLSTERS.

Ingénieur des Ponts et Chaussées
Ingénieur de Ponts et Chaussées
de Belgique.
de Belgique